

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-109025

(43)Date of publication of application : 20.04.2001

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
H04B 10/17
H04B 10/16

(21)Application number : 11-284836

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 05.10.1999

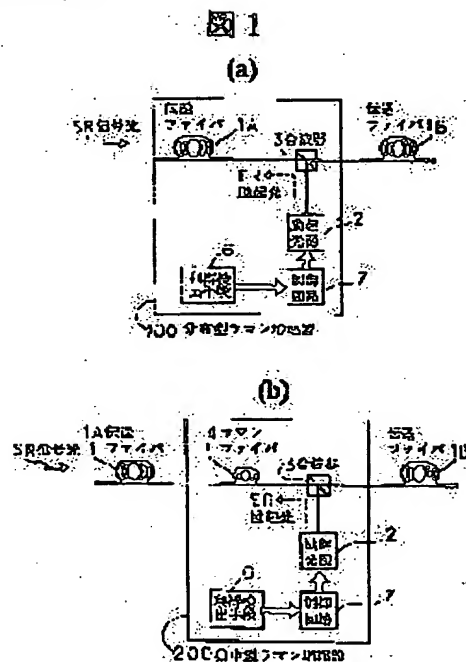
(72)Inventor : MASUDA KOJI
SUZUKI HIROO
TAKACHIO NOBORU

(54) RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the variation of gains in a Raman amplifier and an optical communication system using it and also to reduce the fluctuation of gains for every optical fiber being a gain medium.

SOLUTION: This amplifier is a Raman amplifier performing the Raman amplification of an incident signal light and is provided with optical fibers being gain media of the Raman amplification, an exciting light source exciting the optical fibers, an exciting light from the light source, a multiplexer multiplexing the signal light, a gain detecting means detecting the Raman gain of the amplifier and a control circuit electrically driving the exciting light source based on the detected gain value obtained in the detecting means and the amplifier keeps the Raman gain to be constant when the total value of the power of the incident signal light and the kind and length of the optical fiber are changed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3655508

[Date of registration]

11.03.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-109025
(P2001-109025A)

(43) 公開日 平成13年4月20日 (2001.4.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
10/16			

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-284836

(22) 出願日 平成11年10月5日 (1999. 10. 5)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 増田 浩次

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 鈴木 裕生

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100083552

弁理士 秋田 収喜

最終頁に続く

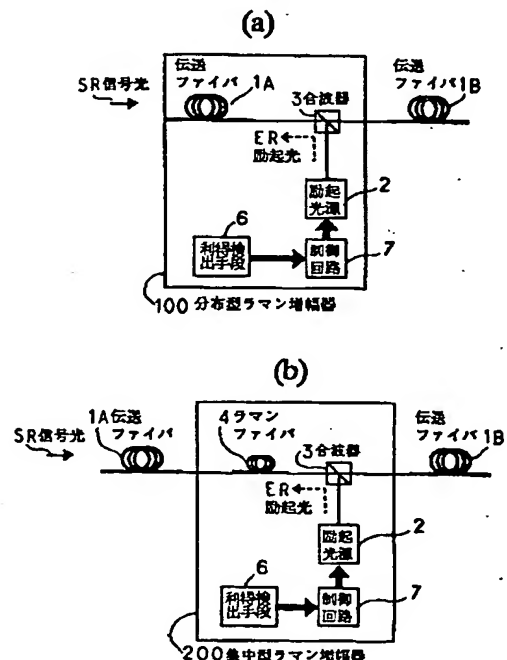
(54) 【発明の名称】 ラマン増幅器及び光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 ラマン増幅器及びそれを用いた光通信システムにおいて、利得の変動を低減する。また、利得媒質ファイバごとの利得のばらつきを低減する。

【解決手段】 入射信号光のラマン増幅を行うラマン増幅器であって、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、前記光ファイバを励起する励起光源と、前記励起光源からの励起光と、前記信号光を合波する合波器と、前記ラマン増幅器のラマン利得を検出する利得検出手段と、前記利得検出手段で得られた検出利得値に基づき、前記励起光源を電気駆動する制御回路を具備し、入力信号光パワーの総合値、及び前記光ファイバの種類や長さが増変したときに、前記ラマン利得を一定に保つものである。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入射信号光のラマン増幅を行うラマン増幅器であって、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、前記光ファイバを励起する励起光源と、前記励起光源からの励起光と、前記信号光を合波する合波器と、前記ラマン増幅器のラマン利得を検出する利得検出手段と、前記利得検出手段で得られた検出利得値に基づき、前記励起光源を電気駆動する制御回路を具備し、入力信号光パワーの総合値、及び前記光ファイバの種類や長さが変化したときに、前記ラマン利得を一定に保つことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバの信号光入力側及び出力側に設置した信号光を分岐する分岐器と、前記分岐器で分岐した信号光パワーを検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した入力信号光パワー及び出力信号光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 3】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバの前記励起光入力側に設置した前記光ファイバへの入力励起光を検出する第 1 の受光手段と、前記光ファイバの前記励起光出力側に設置した前記励起光を分波する分波器及び出力励起光を検出する第 2 の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第 1 及び第 2 の受光手段で検出した入力励起光パワー及び出力励起光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 4】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバ中で発生して増幅された自然散乱光のうち、励起光と同方向に伝搬する成分光（以下、前方増幅自然散乱光と称する）を、信号光と分離する分波器と、前記前方増幅散乱光を検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記前方増幅自然散乱光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 5】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバ中で発生して増幅された自然散乱光のうち、励起光と逆方向（以下、後方向と称する）に伝搬する成分光（以下、後方増幅自然散乱光と称する）を、信号光と分離する分波器と、前記後方増幅散乱光を検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記後方増幅自然散乱光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 6】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバに入力する前記励起光（以下、入力励起光と称する）を検出する第 1 の受光手段と、前記光ファイバ中で発生して前記励起光の後方レーリー散乱光（以下、後方レーリー散乱光と称

する）を、信号光と分離する分波器と、前記後方レーリー散乱励起光を検出する第 2 の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第 1 及び第 2 受光手段で検出した前記後方レーリー散乱励起光パワー、及び入力励起光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 7】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記ラマン増幅の利得波長域に波長を有するプローブ光源と、前記プローブ光源からのプローブ光を信号光と合波する合波器と、前記光ファイバを通過したプローブ光を信号光と分波する分波器と、前記分波したプローブ光を受光する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記プローブ光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 8】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記入力励起光を受光する第 1 の受光手段と、前記利得検出手段が、前記ラマン増幅の利得波長域に波長を有するプローブ光源と、前記プローブ光源からのプローブ光を信号光と合波する合波器と、前記光ファイバ中で発生したプローブ光の後方レーリー散乱光（以下、後方レーリー散乱プローブ光と称する）を、信号光と分波する分波器と、前記分波した後方レーリー散乱プローブ光を受光する第 2 の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第 1 の受光手段で検出した前記入力励起光パワーと、前記第 2 の受光手段で検出した前記後方レーリー散乱プローブ光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 9】 請求項 1 に記載のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記入力励起光を受光する第 1 の受光手段と、前記光ファイバ中で発生した信号光の後方レーリー散乱光（以下、後方レーリー散乱信号光と称する）を、前方向に伝搬する前記入力信号光と分離するサーキュレータと、前記後方レーリー散乱光から、前記利得検出信号光を分離する波長選択型分波器と、前記利得検出信号光を受光する第 2 の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第 1 及び第 2 の受光手段で検出した前記利得検出信号光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 10】 請求項 4 または 5 に記載のラマン増幅器において、前記前方向または後方向の増幅自然散乱光を検出する受光手段が、前記増幅自然散乱光に混入する多波長の信号光を一括して低挿入損失で除去する光フィルタを有することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 11】 請求項 10 に記載のラマン増幅器において、前記光フィルタが、2 段に接続したアレイ導波路格子、または、サーキュレータとファブリーペローフィルタであることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 12】 請求項 3、6、8、9 のいずれか 1 項に記載のラマン増幅器において、前記制御回路が、差動

増幅器と、電気入出力関係が非線形である演算回路を有し、前記第1の受光手段の電気信号を前記演算回路を通した後、前記差動増幅器の第1ポートに入力し、前記第2の受光手段の電気信号を、前記差動増幅器の第2ポートに入力し、前記ラマン利得を精度良く算出することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項13】 請求項1乃至12のうち少なくともいづれか1項に記載のラマン増幅器を備えた光通信システムであって、前記光ファイバが市中に敷設した光伝送ファイバであり、前記光伝送ファイバ中で前記信号光を分布的に増幅することを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ラマン増幅器及びそれを有した光ファイバ通信システムに適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ通信システムで用いられる、従来のラマン増幅器の概略構成を図1に示す（参考文献1：M.Nissov et al., Proc. ECOC, Post Deadline Paper, pp.9-12, September, 1997、参考文献2：H.Masuda et al., Electron.Lett., Vol. 34, No.24, pp.2339-2340, 1998）。ただし、利得媒質ファイバ前後に設置した、必要に応じて用いられる光アイソレータなどの自明な光部品は省略してある。図19（a）及び（c）が分布増幅型ラマン増幅器（以下、略して分布型ラマン増幅器と称する）、図19（b）が集中増幅型ラマン増幅器（以下、略して集中型ラマン増幅器と称する）である。

図19において、1A、1Bはそれぞれ伝送ファイバ（光伝送ファイバ）、2は励起光源、3は合波器、4はラマンファイバ、5は利得一定制御集中型光増幅器、SRは信号光である。図19（a）では、分布ラマン利得のみで伝送ファイバ損失を補っており、一方、図19（c）では、分布ラマン利得と利得一定制御集中型光増幅器（希土類添加ファイバなど）5で伝送ファイバ損失を補っている。分布ラマン利得には、多重レーリー散乱に起因する制限があるので、伝送ファイバ1Aが長く、したがって、伝送ファイバ損失が大きい場合には、図19（c）の構成が有効である。図19（a）及び図19（c）の分布型ラマン増幅器では、伝送ファイバ1Aを利得媒質とし、励起光源からの励起光を合波器3を用いて伝送ファイバ1Aに導入し、励起を行っている。一方、図19（b）の集中型ラマン増幅器では、ラマンファイバ4と呼ばれる高開口数の光ファイバを利得媒質とし、励起光源からの励起光を合波器を用いてラマンファイバ4に導入し、励起を行っている。図19（a）、（b）、（c）いずれの場合にも、励起光源2からの励起光パワーは一定に保たれていた。図20は、従来のラマン増幅器におけるラマン利得の飽和特性（ラマン利得の総合入力信号光パワー依存性）の典型例を示して

いる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 前記ラマン利得は利得媒質ファイバ（伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4）への入力励起光パワーが大きいほど大きい。また、総合入力信号光パワーがある程度以上の値になると、ラマン利得の低下すなわち飽和がみられる。総合入力信号光パワーは、波長多重通信システムにおける波長再配置、光ファイバ断、光ファイバスパン損失変動などの要因により変動する。そのため、図20の利得飽和特性によってラマン利得が変動し、符号誤り率増加などのシステム劣化をもたらす。

【0004】 入力励起光パワーが一定のとき、ラマン利得は主に、用いる利得媒質ファイバ（伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4）のパラメータに依存する。そのパラメータは、光ファイバの有効コア径、ゲルマニウム添加濃度、光ファイバ長などであるが、それらは一般に無視できないばらつきを有している。したがって、図21（ラマン利得のばらつき例を示す図）の例に示したように、用いる光ファイバ毎にラマン利得がばらついていく。これは、システム最適設計値からのずれとなり、システム劣化をもたらす。

【0005】 前述のように、従来のラマン増幅器においては、総合入力信号光パワーが変動したときに利得変動が生じる。また、用いる利得媒質ファイバ（伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4）ごとに利得のばらつきが生じるという問題があった。

【0006】 本発明の目的は、ラマン増幅器またはそれを有した光通信システムにおいて、総合入力信号光パワーが変動した場合においても、利得の変動を低減することが可能な技術を提供することにある。本発明の他の目的は、ラマン増幅器またはそれを有した光通信システムにおいて、利得媒質ファイバ（伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4）ごとの利得のばらつきを低減することが可能な技術を提供することにある。本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本願において開示される発明のうち代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

【0008】 （1）入射信号光のラマン増幅を行うラマン増幅器であって、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、前記光ファイバを励起する励起光源と、前記励起光源からの励起光と、前記信号光を合波する合波器と、前記ラマン増幅器のラマン利得を検出する利得検出手段と、前記利得検出手段で得られた検出利得値に基づき、前記励起光源を電気駆動する制御回路を具備し、入力信号光パワーの総合値、及び前記光ファイバの種類や長さが変化したときに、前記ラマン利得を一定に保つも

のである。

【0009】(2) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバの信号光入力側及び出力側に設置した信号光を分岐する分岐器と、前記分岐器で分岐した信号光パワーを検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した入力信号光パワー及び出力信号光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0010】(3) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバの前記励起光入力側に設置した前記光ファイバへの入力励起光を検出する第1の受光手段と、前記光ファイバの前記励起光出力側に設置した前記励起光を分波する分波器及び出力励起光を検出する第2の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第1及び第2の受光手段で検出した入力励起光パワー及び出力励起光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0011】(4) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバ中で発生して増幅された自然散乱光のうち、励起光同方向に伝搬する成分光(以下、前方増幅自然散乱光と称する)を、信号光と分離する分波器と、前記前方増幅散乱光を検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記前方増幅自然散乱光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0012】(5) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバ中で発生して増幅された自然散乱光のうち、励起光と逆方向に伝搬する成分光(以下、後方増幅自然散乱光と称する)を、信号光と分離する分波器と、前記後方増幅散乱光を検出する受光手段を有し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記後方増幅自然散乱光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0013】(6) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記光ファイバに入力する前記励起光(以下、入力励起光と称する)を検出する第1の受光手段と、前記光ファイバ中で発生して前記励起光の後方レーリー散乱光(以下、後方レーリー散乱光と称する)を、信号光と分離する分波器と、前記後方レーリー散乱励起光を検出する第2の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第1及び第2の受光手段で検出した前記後方レーリー散乱励起光パワー、及び入力励起光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0014】(7) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記ラマン増幅の利得波長域に波長を有するプローブ光源と、前記プローブ光源からのプローブ光を信号光と合波する合波器と、前記光ファイバを通過したプローブ光を信号光と分波する分波器と、前記分波したプローブ光を受光する受光手段を有

し、前記制御回路が、前記受光手段で検出した前記プローブ光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0015】(8) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記入力励起光を受光する第1の受光手段と、前記利得検出手段が、前記ラマン増幅の利得波長域に波長を有するプローブ光源と、前記プローブ光源からのプローブ光を信号光と合波する合波器と、前記光ファイバ中で発生したプローブ光の後方レーリー散乱光(以下、後方レーリー散乱プローブ光と称する)を、信号光と分波する分波器と、前記分波した後方レーリー散乱プローブ光を受光する第2の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第1受光手段で検出した前記入力励起光パワーと、前記第2受光手段で検出した前記後方レーリー散乱プローブ光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出することを特徴とするラマン増幅器。

【0016】(9) 前記手段(1)のラマン増幅器において、前記利得検出手段が、前記入力励起光を受光する第1の受光手段と、前記光ファイバ中で発生した信号光の後方レーリー散乱光(以下、後方レーリー散乱信号光と称する)を、前方向に伝搬する前記入力信号光と分離するサーキュレータと、前記後方レーリー散乱光から、前記利得検出信号光を分離する波長選択型分波器と、前記利得検出信号光を受光する第2の受光手段を有し、前記制御回路が、前記第1及び第2の受光手段で検出した前記利得検出信号光パワーの電気信号から、前記ラマン利得を算出するものである。

【0017】(10) 前記手段(4)または(5)のラマン増幅器において、前記前方向または後方向の増幅自然散乱光を検出する受光手段が、前記増幅自然散乱光に混入する多波長の信号光を一括して低挿入損失で除去する光フィルタを有するものである。

【0018】(11) 前記手段(10)のラマン増幅器において、前記光フィルタが、2段に接続したアレイ導波路格子、または、サーキュレータとファブリーペローフィルタである。

【0019】(12) 前記手段(3)、(6)、(8)、(9)のいずれか1つのラマン増幅器において、前記制御回路が、差動増幅器と、電気入出力関係が非線形である演算回路を有し、前記第1の受光手段の電気信号を前記演算回路を通した後、前記差動増幅器の第1ポートに入力し、前記第2の受光手段の電気信号を、前記差動増幅器の第2ポートに入力し、前記ラマン利得を精度良く算出するものである。

【0020】(13) 前記手段(1)乃至(12)のうち少なくともいずれか1つのラマン増幅器を備えた光通信システムであって、前記光ファイバが市中に敷設した伝送ファイバであり、前記伝送ファイバ中で前記信号光を分布的に増幅する光通信システムである。

【0021】図1は、本発明によるラマン増幅器の基本

構成を示す図であり、図1(a)は、分布型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図、図1(b)は、集中型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図である。図1(a)、(b)において、1A、1Bはそれぞれ伝送ファイバ(光ファイバ)、2は励起光源、3は合波器、4はラマンファイバ、6は利得検出手段、7は制御回路、100は分布型ラマン増幅器、200は集中型ラマン増幅器、SRは信号光である。

【0022】伝送ファイバ(光ファイバ)1Aを用いた分布型ラマン増幅器100では、敷設した伝送ファイバ1A中で分布的に増幅を行うため、集中型に比べ雑音特性に優れている。一方、ラマンファイバ4を用いた集中型ラマン増幅器200では、ラマンファイバ4中で集中的に増幅を行うため、伝送ファイバの種類等に依存することなく動作するという利点がある。

【0023】従来のラマン増幅器と比較すると、本発明によるラマン増幅器では、ラマン増幅器の利得検出手段6及び励起光源2の制御回路7が新たに設置されている点異なる。前記利得検出手段6は、後述する実施例の具体構成によりラマン増幅器の利得を検出し、また、前記制御回路7は、その検出利得値に基づき、検出利得値が一定になるように励起光源をフィードバック制御する。ラマン利得は、励起光パワーが大きい方が大きいので、検出利得値が所期の設定利得値より小さければ励起光パワーを増大し、検出利得値が所期の設定利得値より大きければ励起光パワーを低減させる。

【0024】図2は、本発明によるラマン増幅器の利得飽和特性例を示している。励起光パワーの上限値が600mWの場合である。総合入力信号光パワーが前記の要因に基づき増大したとき、励起光パワーが従来技術の場合のように一定であれば、ラマン利得が減少するが、本発明では、そのラマン利得の減少を検出して励起光パワーを増大させるので、ラマン利得を一定値に保つことができる。例えば、従来技術では、励起光パワーが400mWのとき、ラマン利得は総合入力信号光パワーが-20dBmを超えると減少し始めるが、本発明では、ラマン利得は総合入力信号光パワーが約-5dBmまで一定である。

【0025】図3は、本発明で用いる利得媒質ファイバ(伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4)ごとのラマン利得のばらつきの例を示している。本発明では、用いる利得媒質ファイバごとのラマン利得を、利得検出手段で検出し、励起光パワーを決定しているため、従来技術で見られたラマン利得のばらつき(図21)は、図3に示すように、利得検出の精度内で低減されている。

【0026】以上説明したように、本発明によれば、従来技術において問題であった、総合入力信号光パワーが変動した時に利得変動が生じる点、また、用いる利得媒質ファイバ(伝送ファイバ1Aまたはラマンファイバ4)に依存した利得のばらつきが生じる点が解決され

る。

【0027】以下、本発明について、図面を参照して実施の形態(実施例)とともに詳細に説明する。なお、実施形態(実施例)を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0028】以下に、本発明による実施例1~16を示す。実施例1~14は、信号光と励起光の伝搬方向が逆の場合(後方向励起の場合)について示している。実施例1~7が集中型ラマン増幅器の場合、実施例8~14が分布型ラマン増幅器(分布型ラマン増幅を用いた光通信システム)の場合である。各実施例は、主に利得検出手段が異なる。信号光と励起光の伝搬方向が同じ場合(前方向励起の場合)に関して、実施例15、16で示しており、後方向励起の場合と同様のことが成り立つ。ただし、ラマン利得の相互利得変調(参考文献3:F.Forghieri et al., Proc. OFC, FC6, pp.294-295, 1994, 参照)の観点から、後方向励起の方が前方向励起より一般的である。また、後方向励起と前方向励起を同時に用いた双方向励起の場合は、明らかに前記後方向励起の場合と同様のことが言える。また、実施例1~14は、励起光源が1波長のレーザを有する場合であり、実施形態15及び16は、励起光源が波長が異なる2個(2個以上の任意個数の場合の例)のレーザを有する場合である。

【0029】

【発明の実施の形態】(実施形態1)図4(a)、(b)、図5(a)、(b)、図6、図7(a)、

(b)は、本発明による実施形態1の集中型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図であり、図4(a)は信号光パワー検出型の実施例、図4(b)は励起光パワー検出型の実施例、図5(a)は前方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例、図5(b)は後方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例である。図4及び図5において、1A、1Bはそれぞれ信号光を伝送する伝送ファイバ、(光ファイバ)2は励起光源、3は信号光を合波する合波器、3Mは信号光を合波もしくは分波する合波器兼分波器、4はラマンファイバ、6は利得検出手段、7は制御回路、8、8A、8Bは信号光を分岐する分岐器、8Fは信号光を分波する分波器、9は受光手段(受光器)、9Aは第1の受光手段(受光器)、9Bは第2の受光手段(受光器)、10はサーキュレータ、11はプローブ光源、200は集中型ラマン増幅器、SRは信号光、ERは励起光、NRは増幅自然散乱光、PRはプローブ光、LRはレーリ散乱光である。

【0030】(実施例1)本実施形態1の実施例1の信号光パワー検出型の集中型ラマン増幅器は、図4(a)に示すように、利得媒質ファイバが前記ラマンファイバ4の場合である(以下、実施例2から7までのものも同じ)。ただし、従来技術の場合と同様に、利得媒質ファ

イバの前後で、必要に応じて用いられる光アイソレータなどの自明な光部品は省略してある。ラマン利得の検出を、ラマンファイバ 4 中を伝搬する信号光 S R を用いて行っている。前記信号光 S R の一部または全部、すなわち、波長多重信号光の一部の波長または全波長を、前記ラマンファイバ 4 の前後でそれぞれ分岐し、その分岐した信号光 S R をそれぞれの受光手段 9 で受光し、前記ラマンファイバ 4 の前後の信号光パワーを検出する。前記受光手段 9 は光電気変換の受光器と、必要に応じて、所望の信号光波長のみを取り出す光フィルタを有する（参考文献 4 : H. Suzuki et al., Photon. Technol. Lett., Vol. 10, pp. 734-736, 1998, 参照）。

【0031】前記各受光手段で電気信号となった信号光パワーレベルは、制御回路 7 に伝達され、そこでそれら 2 つの信号光パワーレベルが比較されて、ラマン利得がそれらの比から算出される。前記制御回路 7 は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。前記励起光源は、半導体レーザーや固体レーザーなどであり、一般に電流駆動される。したがって、前記励起光パワーは前記駆動電流により変化する。

【0032】本実施例 1 により得られるラマン利得の飽和特性及びばらつきは、図 2 及び図 3 と同様である（以下、実施例 2 から 7 に関しても同じである）。ただし、図 2 及び図 3 に示した利得は、実施例の集中型ラマン増幅器の外部利得である。

【0033】（実施例 2）本実施形態 1 の実施例 2 の集中型ラマン増幅器は、図 4（b）に示すように、ラマン利得の検出を、前記ラマンファイバ 4 中を伝搬する励起光 E R を用いて行っている。前記励起光 E R を、ラマンファイバ 4 の前で、下記の半導体レーザー後端面から分岐し、また、ラマンファイバ 4 の後で、分波器 8 F を用いて分波し、その分岐または分波した励起光 E R をそれぞれの受光手段 9 A、9 B で受光し、ラマンファイバ 4 の前後の励起光パワーを検出する。ラマンファイバ 4 への入力励起光パワーを受光する受光手段を第 1 の受光手段 9 A、ラマンファイバ 4 から出力励起光パワーを受光する受光手段を第 2 の受光手段 9 B とする。ただし、図 4（b）は、励起光源 2 が実用上重要な半導体レーザーであり、その半導体レーザーの前端面からの励起光 E R を光ファイバビグテールに結合して使用励起光 E R とし、後端面からの不使用な励起光 E R をフォトダイオードなどの第 1 の受光手段 9 A で直接受光するといった、構成が簡単で経済的な例である。勿論、励起光源 E R とラマンファイバ 4 の間に励起光 E R の分波器を設置して、前記第 1 の受光手段 9 A に導いてもよい。

【0034】総合入力信号光パワーが変化したときのラマン利得の変化量は、前記ラマンファイバ 4 を透過後の励起光パワーと高い相関関係がある。したがって、前記透過後の励起光パワーを一定に保つことによってラマン

利得を一定に保つことができる。ただし、前記ラマン利得の変化量は、前記透過後の励起光パワーで主に決定されるものの、前記ラマンファイバ 4 への入力励起光パワーにも若干依存するので、その入力励起光パワーに応じた補正を、前記図 4（b）の本構成で検出した入力励起光パワーに応じて制御回路 7 に与える。以上のことから、本実施例 2 では、ラマンファイバ 4 の前後の励起光パワーに基づいて、制御回路 7 でラマン利得を算出している。前記制御回路 7 は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。

【0035】（実施例 3）本実施形態 1 の実施例 3 の集中型ラマン増幅器は、図 5（a）に示すように、ラマン利得の検出を、前記ラマンファイバ 4 中で発生する増幅された自然散乱光（以下、略して増幅自然散乱光 N R と称する）を用いて行っている。増幅自然散乱光 N R は、前方向（励起光 E R と同方向）と後方向（励起光 E R と逆方向）のものがあるが、本実施例 3 は、前方向の増幅自然散乱光 N R（以下、略して前方増幅自然散乱光 F N R と称する）を、次に述べる実施例 4 は、後方向の増幅自然散乱光 N R（以下、略して後方増幅自然散乱光 B N R と称する）を用いている。前記ラマンファイバ 4 から出射した前方増幅自然散乱光 F N R を、サーキュレータ 10 を用いて低損失で信号光と分離し、受光手段 9 に導いて前方向の増幅自然散乱光パワーを検出している。

【0036】総合入力信号光パワーが変化したときのラマン利得は、前方向の増幅自然散乱光パワーと高い相関関係がある。増幅自然散乱光パワー（前方向及び後方向の増幅自然散乱光パワー）とラマン利得の関係を図 8 に示した。総合入力信号光パワーと励起光パワーが広い範囲（例えば、図 20 に示された動作範囲）で変わったとき、増幅自然散乱光パワーとラマン利得の関係は、ある一定の曲線で精度良く与えられる。具体的には、前記曲線からのずれは高々 0.1 dB である。したがって、前方向の増幅自然散乱光パワーを一定に保持することによって、ラマン利得を高い精度で一定に保持することがきる。

【0037】図 9 は、本実施例 3 の図 5（a）の受光手段 9 に入射する光のスペクトルを示している。細線が本実施例 3、太線が後述する実施例 4 に関するものである。本実施例 3 では、前方増幅自然散乱光 F N R に波長多重信号光の後方向のレーリー散乱光 L R が混入している様子が示されている。図 10 は、その混入した後方向のレーリー散乱信号光を除去し、前方増幅自然散乱光 F N R を透過する光フィルタを備えた受光手段 9 の構成を示している。図 10（a）がアレイ導波路格子 12 を 2 つ用いた構成、図 10（b）がサーキュレータ 10 とファブリーペローフィルタ 14 を用いた構成である。図 14 において、13 はフォトダイオードである。

【0038】以上のことから、本実施例 3 では、前方増

幅自然散乱光パワーに基づいて、制御回路でラマン利得を算出している。前記制御回路7は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。

【0039】（実施例4）本実施形態1の実施例4の集中型ラマン増幅器は、図5（b）に示すように、前記実施例3と類似しているが、本実施例4では、ラマン利得の検出を、後方増幅自然散乱光BNRを用いて行っている。すなわち、前記ラマンファイバ4から出射した後方増幅自然散乱光BNRを、分岐器8を用いて受光手段9に導き、後方増幅自然散乱光パワーを検出している。総合入力信号光パワーが変化したときのラマン利得は、図8に示した通り、前記実施例3と同様である。前記実施例3と同様に、前記曲線からのずれは高々0.1dBである。したがって、後方増幅自然散乱光パワーを一定に保つことによって、ラマン利得を一定に保つことができる。本実施例4の図5（b）の受光手段9に入射する光のスペクトルを図9の太線で示している。本実施例4では、後方増幅自然散乱光BNRに、増幅された波長多重信号光が混入している。図10（b）は、前記実施例3の場合と同様に、その増幅された波長多重信号光を除去し、後方増幅自然散乱光BNRを透過する光フィルタを備えた受光手段9の構成を示している。以上のことから、本実施例4では、後方増幅自然散乱光パワーに基づいて、制御回路7でラマン利得を算出している。前記制御回路は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。

【0040】（実施例5）本実施形態1の実施例5の集中型ラマン増幅器は、図6に示すように、ラマン利得の検出を前記ラマンファイバ4への入力励起光パワー、及びラマンファイバ4からの後方向のレーリー励起光（以下、略して後方レーリー散乱励起光BLR）のパワーを検出して行っている。前記入力励起光パワーは、前記実施例2（図4（b））と同様に、励起レーザの後端面からの励起光ERを、第1の受光手段9Aで受光して検出している。また、後方レーリー散乱励起光BLRを、合波器兼分波器3Mと分岐器8を用いて第2の受光手段9Bに導き、後方向のレーリー散乱励起光パワーを検出している。

【0041】総合入力信号光パワーが変化したときのラマン利得は、後方向のレーリー散乱励起光パワーと高い相関関係がある。ただし、その相関関係は、入力励起光パワーに依存した、ある程度の誤差を含む。典型的入力励起光パワー（600, 400, 200mW）における後方向のレーリー散乱励起光パワーとラマン利得の関係の例を図15に示した。また、図15の関係をj用いてラマン利得の一定制御を行う、図6の制御回路7の構成例を図16に示した。前記制御回路7では、励起光源2を電気駆動する差動増幅器15の一方の入力ポートに、後方向のレーリー散乱励起光パワーの検出値を入力し、他

方の入力ポートに、アナログまたはデジタルの演算回路16を通った後の、入力励起光パワーの検出値を入力している。前記演算回路16では、図15のラマン利得と後方向のレーリー散乱励起光パワーの関係が、近似的に1つの曲線上に載るように、電気入出力レベルの変換を行っている。したがって、この制御回路7により近似的にラマン利得を一定に保つことができる。

【0042】以上のことから、本実施例4では、入力励起光ER及び後方レーリー散乱励起光BLRに基づいて、制御回路7でラマン利得を算出している。前記制御回路7は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。

【0043】（実施例6）本実施形態1の実施例6の集中型ラマン増幅器は、図7（a）に示すように、本ラマン増幅器200内に設けた内蔵プローブ光源11を用いてラマン利得の検出を行っている。すなわち、前記ラマンファイバ4からの出力プローブ光パワーを検出している。前記プローブ光源11からのプローブ光PRの波長は、ラマン利得波長域の任意波長である。前記入力プローブ光パワーは、説明を簡単にするため一定であるとする。前記ラマンファイバ4から出射したプローブ光PRを、サーキュレータ10を用いて低挿入損失で受光手段9に導き、出力プローブ光パワーを検出している。

【0044】信号光SRのラマン利得とプローブ光PRのラマン利得の間には、ラマン利得の均一飽和特性に基づく一対一の対応関係がある。その対応関係は、本ラマン増幅器への入力励起光パワーや入力信号光パワー、利得の飽和度に無関係（いわゆる均一飽和）である。具体的には、dB単位で表わした信号光のラマン利得とプローブ光のラマン利得は、1次関数で対応づけられる。この一対一の対応関係を用いてラマン利得の一定制御を行う。

【0045】以上のことから、本実施例6では、入力プローブ光及び出力プローブ光に基づいて、制御回路でラマン利得を算出している。前記制御回路7は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように励起光パワーを変化させる。

【0046】（実施例7）本実施形態1の実施例7の集中型ラマン増幅器は、図7（b）に示すように、前記実施例6と同様に本実施例7のラマン増幅器200内に設置した内蔵プローブ光源11を用いてラマン利得の検出を行っている。ただし、前記ラマンファイバ4に対する入力プローブ光パワー、及びラマンファイバ4中で分布的に反射される後方レーリー散乱プローブ光（BLPR）パワーを検出している。前記プローブ光源11からのプローブ光の波長は、ラマン利得波長域の任意波長である。ただし、本実施例7のラマン増幅器の動作状態（入力励起光及び信号光パワーなど）に応じて、最適なプローブ光波長が存在する。前記入力プローブ光パワーは、前記実施例6と同様に、プローブレーザの後端面か

らのプローブ光を、第1の受信手段9Aで検出している。また、ラマンファイバ4で反射した後方レーリー散乱プローブ光BLPRを、分波及び分岐を用いて第2の受光手段9Bに導き、後方レーリー散乱プローブ光BLPRを検出している。前記の入力プローブ光パワー及び後方レーリー散乱プローブ光パワーから、プローブ光の反射率を算出する。

【0047】総合入力信号光パワーが変化したときのラマン利得の変化量は、前記プローブ光の反射率と相関関係がある。この相関関係を用いてラマン利得の一定制御を行う。

【0048】以上のことから、本実施例7では、プローブ光の反射率に基づいて、制御回路でラマン利得を算出している。前記制御回路は、その算出ラマン利得が所期のラマン利得に等しくなるように、励起光パワーを変化させる。

【0049】(実施形態2) 図11(a)、(b)、図12(a)、(b)、図13、図14(a)、(b)は、本発明による実施形態2の分布型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図であり、図11(a)は信号光パワー検出型の実施例、図11(b)は励起光パワー検出型の実施例、図12(a)は前方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例、図12(b)は後方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例、図13は後方レーリー散乱励起光パワー検出型の実施例、図14(a)はプローブ光パワー検出型の実施例、図14(b)は後方レーリー散乱プローブ光パワー検出型の実施例である。

【0050】(実施例8) 本実施形態2の実施例8の分布型ラマン増幅器は、図11(a)に示すように、前記実施例1と類似しているが、前記実施例1では利得媒質ファイバがラマンファイバ4であったが、本実施例8では利得媒質ファイバが伝送ファイバ1Aである点が大きく異なる。

【0051】以下の実施例9から14までの実施例に関しても同じであり、それぞれ、前記実施例2から7までの実施例と類似している。前記実施例2から7までの実施例では、利得媒質ファイバがラマンファイバ4であったが、実施例9から14までの実施例では、利得媒質ファイバが伝送ファイバ1Aである点が大きく異なる。伝送ファイバ1Aの長さは通常数十km以上であり、伝送ファイバ1Aの前後の距離は、その長さ分だけ離れているという特徴がある。したがって、利得検出手段が伝送ファイバ1Aの前後にまたがって設置されている場合には、ラマンファイバ4を用いた集中型ラマン増幅器の場合(前記実施例1から7までの実施例)と、伝送ファイバ1Aを用いた分布型ラマン増幅器の場合(実施例8から14までの実施例)は、特に相違が顕著である。

【0052】本実施例8では、ラマン利得の検出を、伝送ファイバ1A中を伝搬する信号光を用いて行っている。前記信号光の一部または全部、すなわち、波長多重

信号光の一部の波長または全波長を、伝送ファイバ1Aの前後でそれぞれ分岐器8A、8Bで分岐し、その分岐した信号光をそれぞれの受光手段9A、9Bで受光し、伝送ファイバ1Aの前後の信号光パワーを検出する。前記実施例1と異なる点は、伝送ファイバ1Aの前でモニタした入力信号光パワー値を、新たに設置した光源17からの監視信号光OSRと合波器3Cを用いて、励起光源2側に転送していることである。そのため、伝送ファイバ1Aの入力側には、その監視信号光用の光源17の制御手段18が設置され、また、伝送ファイバ1Aの出力側には、その監視信号光用の分波器8Fと受光手段20が設置されている。

【0053】制御回路7の動作は、前記実施例1の場合と同じである。また、本実施例8により得られるラマン利得の飽和特性及びばらつきは、ラマン利得を伝送ファイバ1A内での内部利得(励起光をオン・オフしたときの信号光パワーの比)として、図2及び図3の場合と同様である(以下、実施例9から14までの実施例に関しても同じ)。

【0054】(実施例9) 本実施形態2の実施例9の分布型ラマン増幅器は、図11(b)に示すように、ラマン利得の検出を、前記伝送ファイバ1Aを伝搬する励起光を用いて行っている。前記実施例2と異なる点は、伝送ファイバ1Aの前でモニタした出力励起光パワー値を、新たに設置した光源17からの監視信号光OSRと合波器3Cを用いて、励起光源側に転送していることである。そのため、伝送ファイバ1Aの入力側には、その監視信号光用の光制御手段18が設置され、また、伝送ファイバ1Aの出力側には、その監視信号光用の分波器8Fと受光手段20が設置されている。制御回路7の動作は、前記実施例2の場合と同じである。

【0055】(実施例10) 本実施形態2の実施例10の分布型ラマン増幅器は、図12(a)に示すように、ラマン利得の検出を、前記伝送ファイバ1Aで発生する増幅された自然散乱光(以下、略して増幅自然散乱光と称する)を用いて行っている。増幅自然光は前方向(励起光と同方向)と後方向(励起光と逆方向)のものがあるが、本実施例10は前方向の増幅自然散乱光(以下、略して前方増幅自然散乱光と称する)を、次の実施例11は後方向の増幅自然散乱光を用いている。前記実施例3と異なる点は、伝送ファイバ1Aの前でモニタした前方増幅自然散乱光パワー値を、新たに設置した光源17からの監視信号光OSRと合波器3Cを用いて、励起光源側に転送していることである。そのため、伝送ファイバ1Aの入力側には、その監視信号光用の光源17の制御手段18が設置され、また、伝送ファイバ1Aの出力側には、その監視信号光用の分波器8Fと受光手段20が設置されている。制御回路7の動作は、前記実施例3の場合と同じである。

【0056】(実施例11) 本実施形態2の実施例11

の分布型ラマン増幅器は、図 12 (b) に示すように、前記実施例 10 と類似しているが、本実施例 11 では、ラマン利得の検出を、後方向の増幅自然散乱光 (以下、略して後方増幅自然散乱光と称する) を用いて行っている。本実施例 11 では、励起光源側に伝搬する光をモニタしているため、前記実施例 10 のように、伝送ファイバ 1 A をまたいで利得検出手段が存在することはない。したがって、前記実施例 4 と同じ構成を有している。当然ながら、制御回路 7 の動作は、前記実施例 4 の場合と同じである。

【0057】 (実施例 12) 本実施形態 2 の実施例 12 は、後方レーリー散乱励起光パワー検出型の分布型ラマン増幅器であり、図 13 に示すように、ラマン利得の検出を、前記伝送ファイバ 1 A への入力励起光パワー、及び前記伝送ファイバ 1 A からの後方向のレーリー散乱光パワー (以下、略して後方レーリー散乱励起光 B L R と称する) を検出して行っている。本実施例 12 では、励起光に伝搬する後方レーリー散乱励起光パワーをモニタしているため、前記実施例 8 のように、伝送ファイバをまたいで利得検出手段が存在することはない。したがって、前記実施例 5 と同じ構成を有している。当然ながら、制御回路 7 の動作は、前記実施例 5 の場合と同じである。

【0058】 (実施例 13) 本実施形態 2 の実施例 13 は、プローブ光パワー検出型の分布型ラマン増幅器であり、図 14 (a) に示すように、本実施例 13 では、本実施例 13 のラマン増幅器内に設置された内蔵プローブ光源 11 を用いてラマン利得の検出を行っている。すなわち、前記伝送ファイバ 1 A に対する入力及び出力プローブ光パワーを検出している。前記実施例 6 と異なる点は、伝送ファイバ 1 A の前でモニタしたプローブ光パワー値を、新たに設置した光源 17 からの監視信号光 O S R と合波器 3 C を用いて、励起光源側に転送していることである。そのため、伝送ファイバ 1 A の入力側には、その監視信号光用の光源 17 の制御手段 18 が設置され、また、伝送ファイバ 1 A の出力側には、その監視信号光用の分波器 8 F と受光手段 20 が設置されている。制御回路 7 の動作は、前記実施例 6 の場合と同じである。

【0059】 (実施例 14) 本実施形態 2 の実施例 14 は、後方レーリー散乱プローブ光パワー検出型の分布型ラマン増幅器であり、図 14 (b) に示すように、本実施例 14 では、前記実施例 13 と同様に、本実施例 14 のラマン増幅器内に設置した内蔵プローブ光源 11 を用いてラマン利得の検出を行っている。ただし、前記伝送ファイバ 1 A に対する入力プローブ光パワー、及び伝送ファイバ 1 A 中で分布的に反射される後方レーリー散乱プローブ光 (B L P R) パワーを検出している。本実施例 14 では、励起光源側に伝搬する後方レーリー散乱プローブ光パワーをモニタしているため、前記実施例 8 のように、伝送ファイバ 1 A をまたいで利得検出手段が存

在することはない。したがって、前記実施例 7 と同じ構成を有している。当然ながら、制御回路 7 の動作は、前記実施例 7 の場合と同じである。

【0060】 (実施例 15) 本実施形態 2 の実施例 15 は、後方レーリー散乱励起光パワー検出型の分布型ラマン増幅器であり、図 17 に示すように、伝送ファイバ 1 A を利得媒質として用いた分布型ラマン増幅器が、前方向に励起され、その励起光源 2 が異なる波長の 2 個のレーザ L D 1 及び L D 2 を有する場合である。レーザ L D 1 及び L D 2 の波長を、それぞれ λ_{p1} 及び λ_{p2} としている。複数の励起波長を用いる目的は、おもに平坦利得帯域幅の拡大である (参考文献 5: 鈴木他、特願平 11-187965、「ラマン分布増幅器を利用した波長多重光伝送システム」、参照)。本実施例 15 の利得検出方法は、前記実施例 12 と類似しており、各励起レーザ毎に励起光の後方レーリー散乱光パワーを検出している。

【0061】 波長 λ_{p1} 及び λ_{p2} の励起光は、波長選択型合波器で合波され、伝送路中に設置した信号光と励起光の合波器 3 M を用いて、伝送ファイバ 1 A に前方向から入射する。それら 2 波長の入射励起光は、それぞれ第 1 の受光手段 (R 1) 9 A で受光される。伝送ファイバ 1 A 中で発生した後方レーリー散乱励起光は、入射励起光と逆の経路を辿り、波長選択型合波器兼分波器 21 で λ_{p1} と λ_{p2} に分波され、分岐を用いて第 2 の受光手段 (R 2) 9 B に導かれる。それぞれのレーザは、前記実施例 12 と同様に、制御回路 7 にて独立に制御される。

【0062】 本実施例 15 は、利得媒質が伝送ファイバ 1 A である分布型ラマン増幅器に関して前記に説明したが、明らかに、利得媒質がラマンファイバ 4 である集中型ラマン増幅器に関しても同様のことが言える。また、励起光源が有するレーザの個数は、明らかに 2 個に限られることはなく、任意の個数でよい。

【0063】 (実施例 16) 本実施形態 2 の実施例 16 は、後方レーリー散乱信号光パワー検出型の分布型ラマン増幅器であり、図 18 に示すように、前記実施例 15 と同様に、伝送ファイバ 1 A を利得媒質として用いた分布型ラマン増幅器が、前方向に励起され、その励起光源が異なる波長の 2 個のレーザ L D 1 及び L D 2 を有する場合である。本実施例 16 の利得検出方法は、前記実施例 14 と類似しているが、内蔵プローブ光は用いず、信号光の後方レーリー散乱パワーを検出している。

【0064】 波長 λ_{p1} 及び λ_{p2} の励起光は、波長選択型合波器 22 で合波され、伝送路中に設置した信号光と励起光の合波器 3 M を用いて、伝送ファイバ 1 A に前方向から入射する。それら 2 波長の入射励起光はそれぞれ第 1 の受光手段 (R 1) 9 A で受光される。

【0065】 波長多重の信号光波長を、 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_h$ (h は自然数) とし、励起光波長 λ_{p1} 及び λ_{p2}

p 2 に対する信号光の利得ピーク近傍波長をそれぞれ λ_{s1} 及び λ_{s2} とする。本実施例 16 では、波長 λ_{s1} および λ_{s2} の後方レーリー散乱信号光パワーを検出している（参考文献 5 参照）。伝送ファイバ 1A 中で生じた信号光 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_h$ の後方レーリー散乱光は、サーキュレータ 10 及び波長選択型合波器 22 により低挿入損失で第 2 の受光手段 (R2) 9B に入射し、その光パワーが検出される。

【0066】レーザ LD1 及び LD2 のそれぞれは、前記実施例 14 と同様に、制御回路 7 にて独立に制御される。利得検出に用いる信号光波長は波長 λ_{s1} および λ_{s2} に限られることはなく、各後方レーリー散乱信号光パワーと、それを用いて制御を行う励起レーザによるラマン利得の間に高い相関関係があれば、任意の波長でよい。

【0067】以上、本発明による実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更し得ることは勿論である。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ラマン増幅器またはそれを用いた光通信システムにおいて、総合入力信号光パワーが変動した場合においても、利得の変動を低減することができる。また、ラマン増幅器またはそれを用いた光通信システムにおいて、利得媒質ファイバ（光伝送ファイバまたはラマンファイバ）ごとの利得のばらつきを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるラマン増幅器の基本構成を示す模式図である。

【図 2】本発明によるラマン増幅器の利得飽和特性例を示す図である。

【図 3】本発明で用いる利得媒質ファイバごとのラマン利得のばらつきの例を示す図である。

【図 4】本発明による実施形態 1 の実施例 1, 2 の集中型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図であり、信号光パワー検出型の実施例及び励起光パワー検出型の実施例の概略構成を示す図である。

【図 5】本実施形態 1 の実施例 3, 4 の前方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例及び後方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例の概略構成を示す図である。

【図 6】本実施形態 1 の実施例 5 の後方レーリー散乱励起光パワー検出型の実施例の概略構成を示す図である。

【図 7】本実施形態 1 の実施例 6, 7 のプローブ光パワー検出型の実施例及び後方レーリー散乱プローブ光パワー検出型の実施例の概略構成を示す図である。

【図 8】本実施例の増幅自然散乱光パワーとラマン利得の関係例を示す図である。

【図 9】本実施例 3, 4 のモニタ光のスペクトルを示す図である。

【図 10】本実施例 3, 4 の受光手段の概略構成を示す模式図である。

【図 11】本発明による実施形態 2 の実施例 8, 9 の分布型ラマン増幅器の信号光パワー検出型及び励起光パワー検出型の実施例の概略構成を示す模式図である。

【図 12】本実施形態 2 の実施例 9, 10 の分布型ラマン増幅器の前方増幅自然散乱光パワー検出型及び後方増幅自然散乱光パワー検出型の実施例の概略構成を示す模式図である。

【図 13】本実施形態 2 の実施例 12 の分布型ラマン増幅器の後方レーリー散乱励起光パワー検出型の実施例の概略構成を示す模式図である。

【図 14】本実施形態 2 の実施例 13, 14 の分布型ラマン増幅器のプローブ光パワー検出型及び後方レーリー散乱プローブ光パワー検出型の実施例である。

【図 15】本実施例の後方向のレーリー散乱励起光パワーとラマン利得の関係を示す図である。

【図 16】本実施例の制御回路の構成例を示す模式図である。

【図 17】本実施形態 2 の実施例 15 の後方レーリー散乱励起光パワー検出型の分布型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図 18】本実施形態 2 の実施例 16 の後方レーリー散乱信号光パワー検出型の分布型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図 19】従来の分布増幅型ラマン増幅器及び集中増幅型ラマン増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図 20】従来のラマン増幅器におけるラマン利得の飽和特性（ラマン利得の総合入力信号光パワー依存性）の典型例を示す図である。

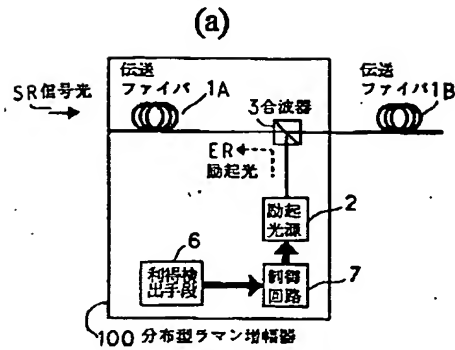
【図 21】従来のラマン増幅器におけるラマン利得のばらつき例を示す図である。

【符号の説明】

1A, 1B…伝送光ファイバ、2…励起光源、3, 3C…合波器、3M…合波器兼分波器、4…ラマンファイバ、6…利得検出手段、7…制御回路、100…分布型ラマン増幅器、200…集中型ラマン増幅器、SR…信号光、8, 8A, 8B…分岐器、8F…分波器、9…受光手段（受光器）、9A…第 1 の受光手段（受光器）、9B…第 2 の受光手段（受光器）、10…サーキュレータ、11…プローブ光源、12…アレイ導波路格子、13…フォトダイオード、14…ファブリーペローフィルタ、15…差動増幅器、16…アナログまたはデジタルの演算回路、17…光源、18…制御手段、20…受光手段、21…波長選択型合波器兼分波器、22…波長選択型合波器、23…波長選択型分波器。

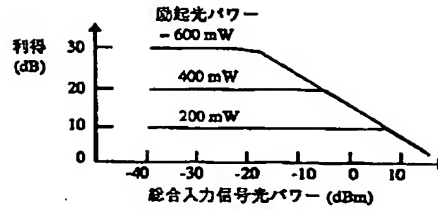
【図1】

図1



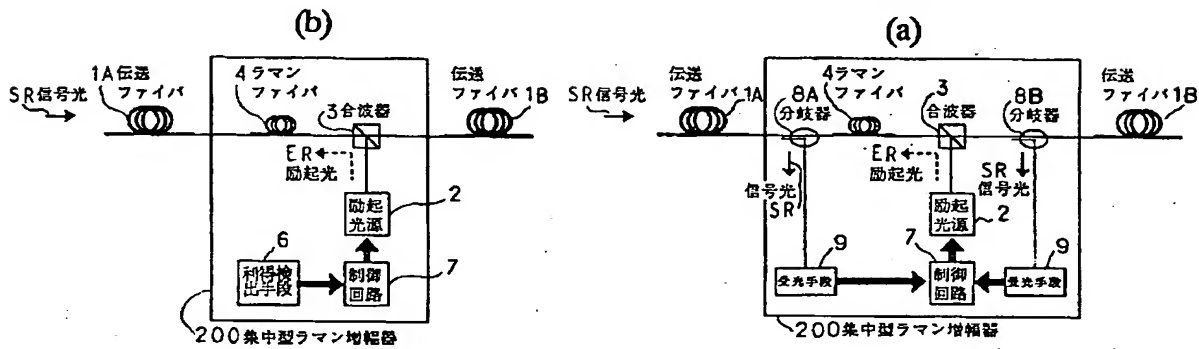
【図2】

図2



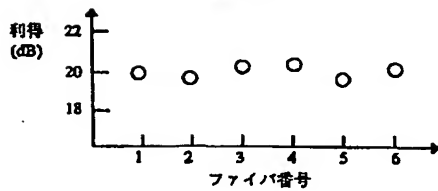
【図4】

図4



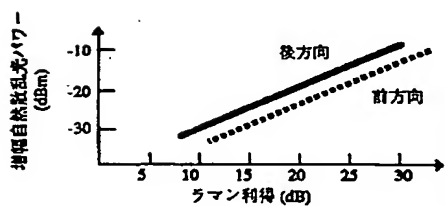
【図3】

図3



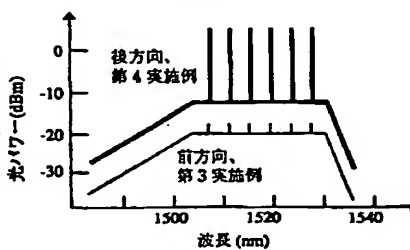
【図8】

図8



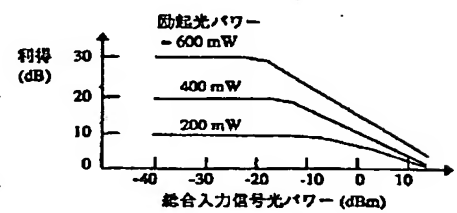
【図9】

図9



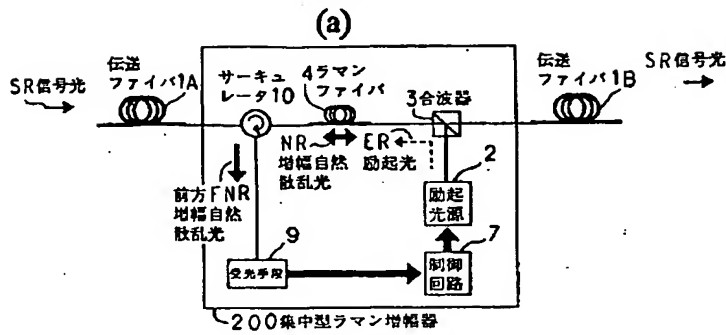
【図20】

図20



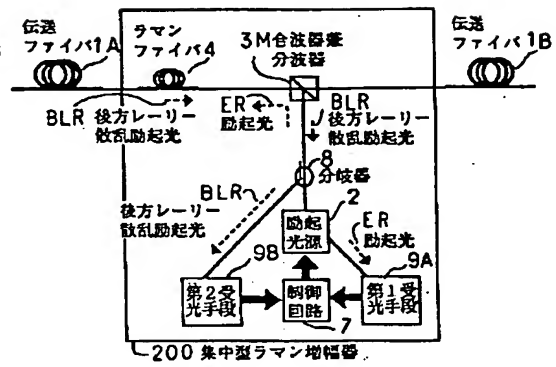
【図5】

図5

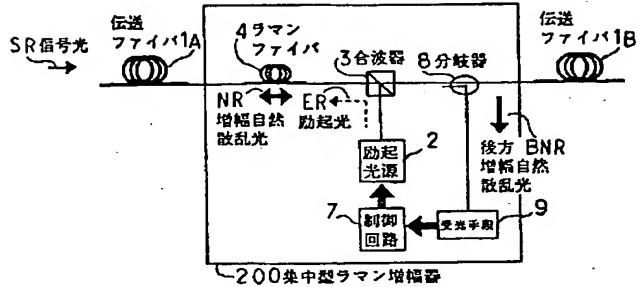


【図6】

図6

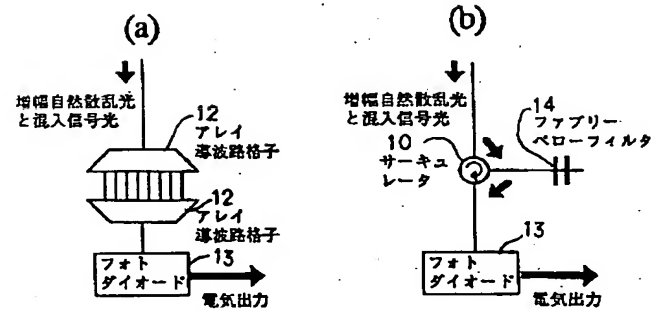


(b)



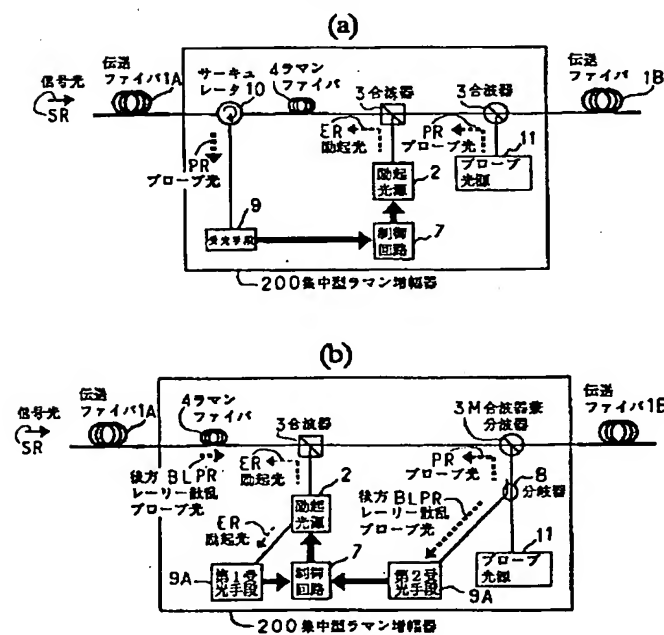
【図10】

図10



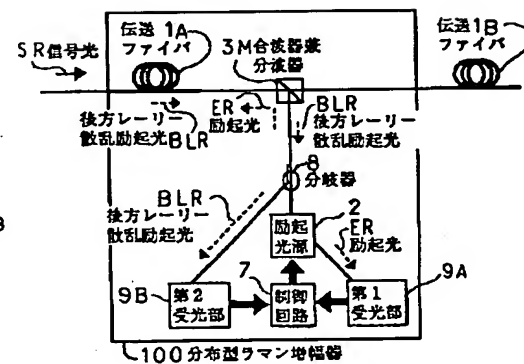
【図7】

図7

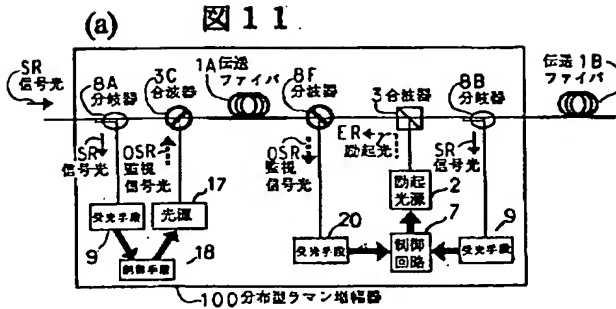


【図13】

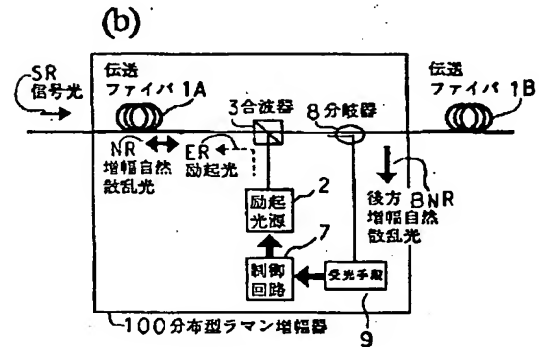
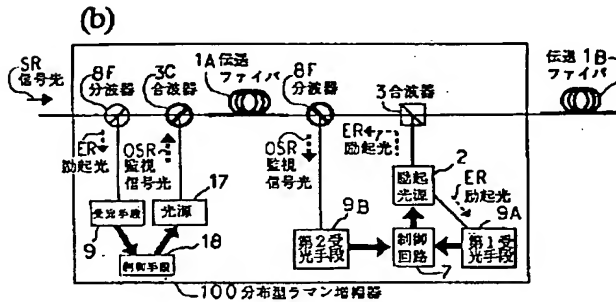
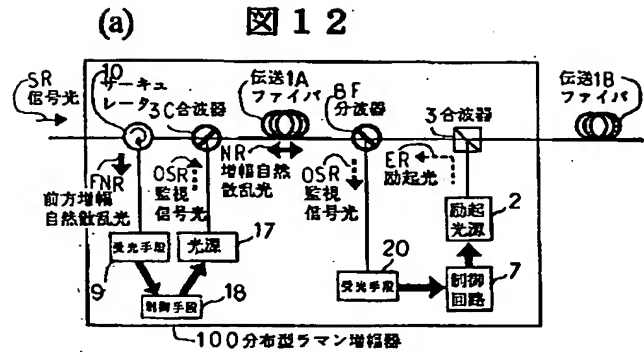
図13



【図 11】

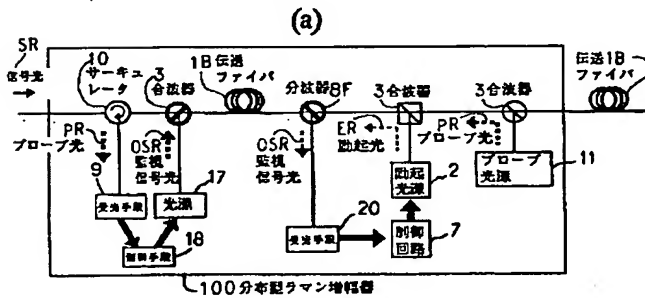


【図 12】



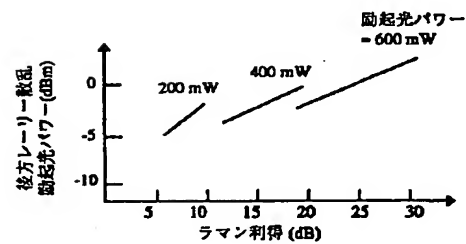
【図 14】

図 14



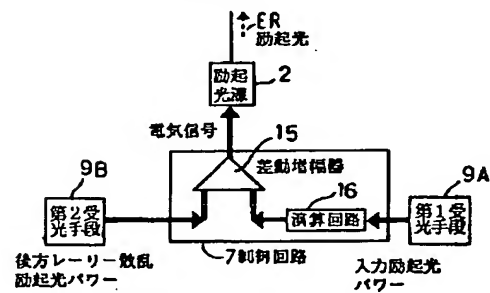
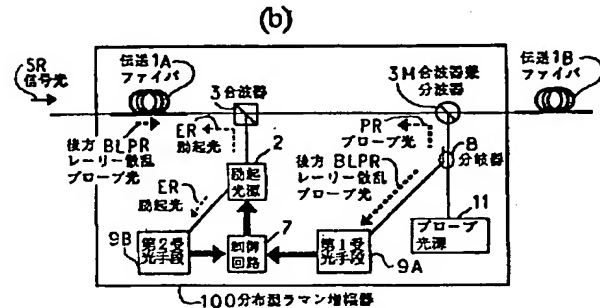
【図 15】

図 15



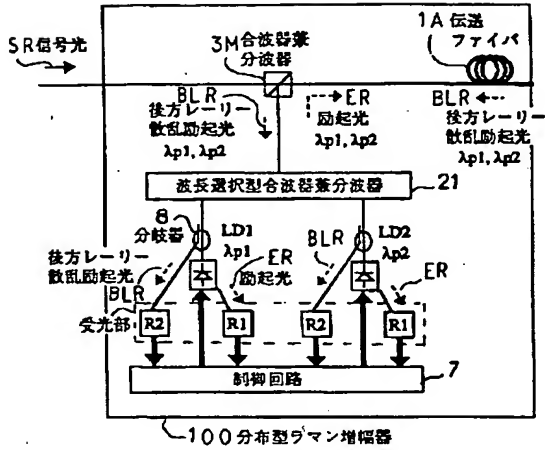
【図 16】

図 16



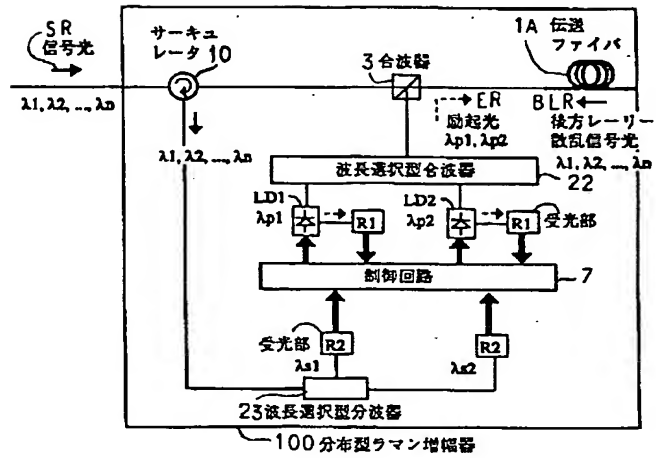
【図17】

図17



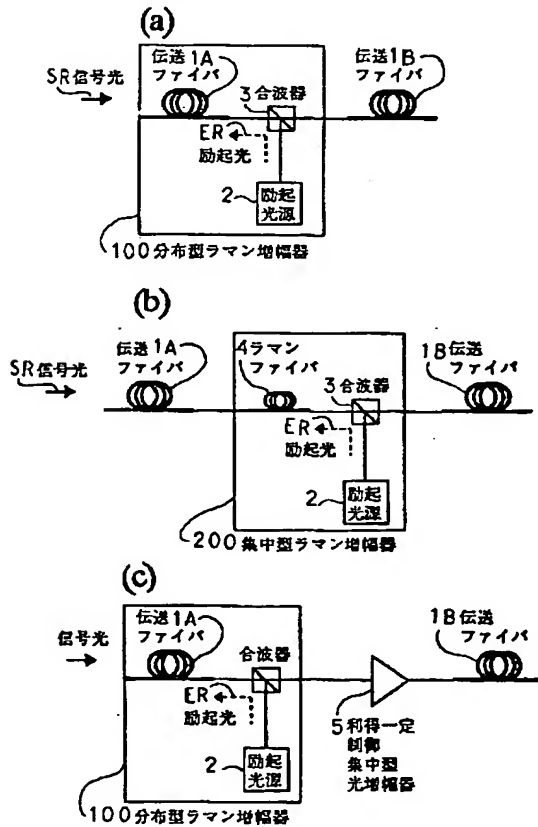
【図18】

図18



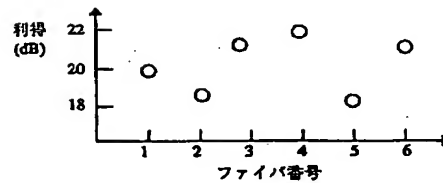
【図19】

図19



【図21】

図21



フロントページの続き

(72)発明者 高知尾 昇
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10
EB15 HA23
5K002 AA06 BA04 BA05 BA13 CA10
CA13 DA02 EA05 FA01 FA02

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :
2001-109025

(43)Date of publication of application :
20.04.2001

(51)Int.Cl.
G02F 1/35

H04B 10/17

H04B 10/16

(21)Application number :
11-284836

(71)Applicant :
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing :
05.10.1999

(72)Inventor :
MASUDA KOJI
SUZUKI HIROO
TAKACHIO NOBORU

(54) RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the variation of gains in a Raman amplifier and an optical communication system using it and also to reduce the fluctuation of gains for every optical fiber being a gain medium.

SOLUTION: This amplifier is a Raman amplifier performing the Raman amplification of an incident signal light and is provided with optical fibers being gain media of the Raman amplification, an exciting light source exciting the optical fibers, an exciting light from the light source, a multiplexer multiplexing the signal light, a gain detecting means detecting the Raman gain of the amplifier and a control circuit electrically driving the exciting light source based on the detected gain value obtained in the detecting means and the amplifier keeps the Raman gain to be constant when the total value of the power of the incident signal light and the kind and length of the optical fiber are changed.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3655508

[Date of registration]

11.03.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The optical fiber which is the Raman amplifier which performs Raman magnification of incidence signal light, and is the gain medium of the Raman magnification, The excitation light source which excites said optical fiber, and the excitation light from said excitation light source, The multiplexing machine which multiplexes said signal light, and a gain detection means to detect the Raman gain of said Raman amplifier, Raman amplifier characterized by keeping said Raman gain constant when the control circuit which carries out the electric drive of said excitation light source is provided based on the detection gain value acquired with said gain detection means and the comprehensive value of input signal light power, and the class and die length of said optical fiber change.

[Claim 2] The Raman amplifier with which it has a light-receiving means detect the signal light power which branched by the turnout to which said gain detection means branches the signal light installed in the signal light input side and output side of said optical fiber in the Raman amplifier according to claim 1, and said turnout, and said control circuit is characterized by to compute said Raman gain from the electrical signal of the input signal light power detected with said

light-receiving means, and output signal light power.

[Claim 3] 1st light-receiving means by which said gain detection means detects the input excitation light of said optical FAIBAHE installed in said excitation light input side of said optical fiber in the Raman amplifier according to claim 1, It has the 2nd light-receiving means which detects the splitter and output excitation light which separate spectrally said excitation light installed in said excitation optical output side of said optical fiber. Raman amplifier with which said control circuit is characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of the input excitation light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means, and output excitation light power.

[Claim 4] The inside of the natural scattered light by which said gain detection means was amplified by generating in said optical fiber in the Raman amplifier according to claim 1, The splitter which separates excitation light and the component light (the front magnification natural scattered light is called hereafter) spread in this direction with signal light, Raman amplifier with which it has a light-receiving means to detect said front magnification scattered light, and said control circuit is characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said front magnification natural scattered-light power detected with said light-receiving means.

[Claim 5] The inside of the natural scattered light by which said gain detection means was amplified by generating in said optical fiber in the Raman amplifier according to claim 1, The splitter which separates excitation light and the component light (the back magnification natural scattered light is called hereafter) spread to hard flow (the back is called hereafter) with signal light, Raman amplifier with which it has a light-receiving means to detect said back magnification scattered light, and said control circuit is characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said back magnification natural scattered-light power detected with said light-receiving means.

[Claim 6] The 1st light-receiving means which detects said excitation light (input excitation light is called hereafter) which said gain detection means inputs into said optical fiber in the Raman amplifier according to claim 1, The splitter which is generated in said optical fiber and separates the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering light is called hereafter) of said excitation light with signal light, Raman amplifier with which it has the 2nd light-receiving means which detects said back Rayleigh-scattering excitation light, and said control circuit is characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said back Rayleigh-scattering excitation light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means, and input excitation light power.

[Claim 7] The probe light source to which said gain detection means has wavelength in the gain wavelength region of said Raman magnification in the Raman amplifier according to claim 1, The multiplexing machine which multiplexes the probe light from said probe light source with signal light, and the splitter which separates spectrally the probe light which passed said optical fiber with signal light, Raman amplifier with which it has a light-receiving means to receive said probe light separated spectrally, and said control circuit is characterized by computing

said Raman gain from the electrical signal of said probe light power detected with said light-receiving means.

[Claim 8] The 1st light-receiving means which receives said input excitation light in the Raman amplifier according to claim 1, The probe light source to which said gain detection means has wavelength in the gain wavelength region of said Raman magnification, The multiplexing machine which multiplexes the probe light from said probe light source with signal light, and the splitter which separates spectrally the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering probe light is called hereafter) of the probe light which occurred in said optical fiber with signal light, Said input excitation light power which has the 2nd light-receiving means which receives said back Rayleigh-scattering probe light separated spectrally, and said control circuit detected with said 1st light-receiving means, Raman amplifier characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said back Rayleigh-scattering probe light power detected with said 2nd light-receiving means.

[Claim 9] 1st light-receiving means by which said gain detection means receives said input excitation light in the Raman amplifier according to claim 1, Said input signal light which spreads forward the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering signal light is called hereafter) of the signal light generated in said optical fiber, and the circulator to separate, The wavelength selection mold splitter which separates said gain detecting-signal light from said back Rayleigh-scattering light, Raman amplifier with which it has the 2nd light-receiving means which receives said gain detecting-signal light, and said control circuit is characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said gain detecting-signal light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means.

[Claim 10] Raman amplifier with which a light-receiving means to detect the magnification natural scattered light of said front or the back is characterized by having the optical filter which bundles up the signal light of the many wavelength mixed in said magnification natural scattered light, and is removed by the low insertion loss in the Raman amplifier according to claim 4 or 5.

[Claim 11] The array waveguide grid which said optical filter connected to two steps in the Raman amplifier according to claim 10, or Raman amplifier characterized by being a circulator and the Fabry-Perot filter.

[Claim 12] In the Raman amplifier given in any 1 term of claims 3, 6, 8, and 9 Said control circuit has the differential amplifier and the arithmetic circuit where electric input/output relation is nonlinear. Raman amplifier characterized by inputting the electrical signal of said 1st light-receiving means into the 1st port of said differential amplifier after letting said arithmetic circuit pass, inputting the electrical signal of said 2nd light-receiving means into the 2nd port of said differential amplifier, and computing said Raman gain with a sufficient precision.

[Claim 13] The optical transmission system which is an optical transmission system which equipped any 1 term with the Raman amplifier of a publication at least claim 1 thru/or among 12, is the optical transmission fiber which said optical fiber laid in the city, and is characterized by amplifying said signal light in distribution in said

optical transmission fiber.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is applied to the optic fiber communication system which used the Raman amplifier and it, and relates to an effective technique.

[0002]

[Description of the Prior Art] The outline configuration of the conventional Raman amplifier used by the optic fiber communication system is shown in drawing 1 (bibliography 1: M. Nissov et al., Proc. ECOC, Post Deadline Paper, pp. 9-12, September, 1997, and bibliography 2: H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 34, No. 24, pp. 2339-2340, 1998). However, obvious optical components installed before and after the gain medium fiber, such as an optical isolator used if needed, are omitted. Drawing 19 (a) and (c) are [distribution magnification mold Raman amplifier (hereafter, it omits and distribution pattern Raman amplifier is called) and drawing 19 (b)] intensive magnification mold Raman amplifier (hereafter, it omits and concentration mold Raman amplifier is called). For the excitation light source and 3, in drawing 19, a multiplexing machine and 4 are [1A and 1B / a transmission fiber (optical transmission fiber) and 2 / a gain fixed control concentration mold optical amplifier and SR of Raman Feiba and 5] signal light, respectively. At drawing 19 (a), transmission fiber loss is compensated only with distribution Raman gain, and, on the other hand, transmission fiber loss is compensated with drawing 19 (c) with distribution Raman gain and the gain fixed control concentration mold optical amplifiers (rare earth addition fiber etc.) 5. Since distribution Raman gain has the limit resulting from multiplex Rayleigh scattering, when [long therefore] transmission fiber loss is large, the configuration of drawing 19 (c) has effective transmission fiber 1A. In the distribution pattern Raman amplifier of drawing 19 (a) and drawing 19 (c), transmission fiber 1A is used as a gain medium, and it is exciting by introducing the excitation light from the excitation light source into transmission fiber 1A using the multiplexing machine 3. On the other hand, in the concentration mold Raman amplifier of drawing 19 (b), the optical fiber of a high numerical aperture called Raman Feiba 4 is used as a gain medium, and it is exciting by introducing the excitation light from

the excitation light source into Raman Feiba 4 using a multiplexing machine. drawing 19 (a), (b), and (c) -- in any case, the excitation light power from the excitation light source 2 was kept constant. Drawing 20 shows the example of a type of the saturation characteristics (comprehensive input signal light power dependency of the Raman gain) of the Raman gain in the Raman amplifier of the conventional technique.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Said Raman gain is so large that the input excitation light power to a gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Feiba 4) is large. Moreover, if comprehensive input signal light power becomes the above value to some extent, it will see, a fall, i.e., the saturation, of the Raman gain. Comprehensive input signal light power is changed according to factors, such as wavelength relocation in a wave-length-multiple-telecommunication system, *****, and optical fiber span loss fluctuation. Therefore, with the gain saturation characteristics of drawing 20, the Raman gain is changed and system degradation of the increment in a digital error rate etc. is brought about.

[0004] When input excitation light power is fixed, it mainly depends for the Raman gain on the parameter of the gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Feiba 4) to be used. Although the parameter is the effective core diameter of an optical fiber, germanium addition concentration, optical fiber length, etc., they have dispersion which generally cannot be disregarded. Therefore, as shown in the example of drawing 21 (drawing showing the example of dispersion of the Raman gain), the Raman gain varies for every optical fiber to be used. This serves as **** from a system optimum design value, and brings about system degradation.

[0005] As mentioned above, in the Raman amplifier of the conventional technique, when comprehensive input signal light power is changed, gain fluctuation arises. Moreover, every [to be used] gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Feiba 4) had the problem that dispersion in gain arose.

[0006] In the optical transmission system which used the Raman amplifier or it, the purpose of this invention is to offer the technique which can reduce fluctuation of gain, when comprehensive input signal light power is changed. Other purposes of this invention are in the optical transmission system which used the Raman amplifier or it to offer the technique which can reduce dispersion in the gain of every gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Feiba 4). As new along [said] this invention a description as the other purposes is clarified by description and the accompanying drawing of this specification.

[0007]

[Means for Solving the Problem] It will be as follows if the outline of a typical thing is briefly explained among invention indicated in this application.

[0008] (1) The optical fiber which is the Raman amplifier which performs Raman magnification of incidence signal light, and is the gain medium of the Raman magnification, The excitation light source which excites said optical fiber, and the excitation light from said excitation light source, The multiplexing machine which multiplexes said signal light, and a gain detection means to detect the Raman gain of

said Raman amplifier, When the control circuit which carries out the electric drive of said excitation light source is provided based on the detection gain value acquired with said gain detection means and the comprehensive value of input signal light power, and the class and die length of said optical fiber change, said Raman gain is kept constant.

[0009] (2) In the Raman amplifier of said means (1), it has a light-receiving means to detect the signal light power which branched by the turnout to which said gain detection means branches the signal light installed in the signal light input side and output side of said optical fiber, and said turnout, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of the input signal light power detected with said light-receiving means, and output signal light power.

[0010] (3) 1st light-receiving means by which said gain detection means detects the input excitation light of said optical FAIBAHE installed in said excitation light input side of said optical fiber in the Raman amplifier of said means (1), It has the 2nd light-receiving means which detects the splitter and output excitation light which separate spectrally said excitation light installed in said excitation optical output side of said optical fiber. Said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of the input excitation light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means, and output excitation light power.

[0011] In the Raman amplifier of said means (1) (4) Said gain detection means The splitter which separates the component light (the front magnification natural scattered light is called hereafter) spread in the excitation **** direction among the natural scattered lights amplified by generating in said optical fiber with signal light, It has a light-receiving means to detect said front magnification scattered light, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of said front magnification natural scattered-light power detected with said light-receiving means.

[0012] In the Raman amplifier of said means (1) (5) Said gain detection means The splitter which separates excitation light and the component light (the back magnification natural scattered light is called hereafter) spread to hard flow with signal light among the natural scattered lights amplified by generating in said optical fiber, It has a light-receiving means to detect said back magnification scattered light, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of said back magnification natural scattered-light power detected with said light-receiving means.

[0013] (6) The 1st light-receiving means which detects said excitation light (input excitation light is called hereafter) which said gain detection means inputs into said optical fiber in the Raman amplifier of said means (1), The splitter which is generated in said optical fiber and separates the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering light is called hereafter) of said excitation light with signal light, It has the 2nd light-receiving means which detects said back Rayleigh-scattering excitation light, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of said back Rayleigh-scattering excitation light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means, and input excitation light power.

[0014] (7) The probe light source to which said gain detection means has wavelength in the gain wavelength region of said Raman magnification in the Raman amplifier of said means (1), The multiplexing machine which multiplexes the probe light from said probe light source with signal light, and the splitter which separates spectrally the probe light which passed said optical fiber with signal light, It has a light-receiving means to receive said probe light separated spectrally, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of said probe light power detected with said light-receiving means.

[0015] (8) The 1st light-receiving means which receives said input excitation light in the Raman amplifier of said means (1), The probe light source to which said gain detection means has wavelength in the gain wavelength region of said Raman magnification, The multiplexing machine which multiplexes the probe light from said probe light source with signal light, and the splitter which separates spectrally the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering probe light is called hereafter) of the probe light which occurred in said optical fiber with signal light, Said input excitation light power which has the 2nd light-receiving means which receives said back Rayleigh-scattering probe light separated spectrally, and said control circuit detected with said 1st light-receiving means, Raman amplifier characterized by computing said Raman gain from the electrical signal of said back Rayleigh-scattering probe light power detected with said 2nd light-receiving means.

[0016] (9) 1st light-receiving means by which said gain detection means receives said input excitation light in the Raman amplifier of said means (1), Said input signal light which spreads forward the back Rayleigh-scattering light (back Rayleigh-scattering signal light is called hereafter) of the signal light generated in said optical fiber, and the circulator to separate, The wavelength selection mold splitter which separates said gain detecting-signal light from said back Rayleigh-scattering light, It has the 2nd light-receiving means which receives said gain detecting-signal light, and said control circuit computes said Raman gain from the electrical signal of said gain detecting-signal light power detected with said 1st and 2nd light-receiving means.

[0017] (10) In said means (4) or the Raman amplifier of (5), it has the optical filter which a light-receiving means to detect the magnification natural scattered light of said front or the back bundles up the signal light of the many wavelength mixed in said magnification natural scattered light, and removes by the low insertion loss.

[0018] (11) In the Raman amplifier of said means (10), they are the array waveguide grid which said optical filter connected to two steps, or a circulator and the Fabry Perot filter.

[0019] (12) In any one Raman amplifier of said means (3), (6), (8), and the (9) Said control circuit has the differential amplifier and the arithmetic circuit where electric input/output relation is nonlinear. The electrical signal of said 1st light-receiving means is inputted into the 1st port of said differential amplifier after letting said arithmetic circuit pass, the electrical signal of said 2nd light-receiving means is inputted into the 2nd port of said differential amplifier, and said Raman gain is computed with a sufficient precision.

[0020] (13) It is the optical transmission system equipped with any one Raman amplifier at least said means (1) thru/or among (12), and it is the transmission fiber which said optical fiber laid in the city, and is the optical transmission system which amplifies said signal light in distribution in said transmission fiber.

[0021] Drawing 1 is drawing showing the basic configuration of the Raman amplifier by this invention, and the mimetic diagram in which drawing 1 (a) shows the outline configuration of distribution pattern Raman amplifier, and drawing 1 (b) are the mimetic diagrams showing the outline configuration of concentration mold Raman amplifier. drawing 1 (a) and (b) -- setting -- 1A and 1B -- respectively -- a transmission fiber (optical fiber) and 2 -- the excitation light source and 3 -- for a gain detection means and 7, a control circuit and 100 are [a multiplexing machine and 4 / Raman Feiba and 6 / concentration mold Raman amplifier and SR of distribution pattern Raman amplifier and 200] signal light.

[0022] With the distribution pattern Raman amplifier 100 using transmission fiber (optical fiber) 1A, in order to amplify in distribution in laid transmission fiber 1A, compared with the concentration mold, it excels in the noise property. On the other hand, in the concentration mold Raman amplifier 200 using Raman Feiba 4, in order to amplify intensively in Raman Feiba 4, there is an advantage of operating without being dependent on the class of transmission fiber etc.

[0023] As compared with the conventional Raman amplifier, it differs with the Raman amplifier by this invention in that the control circuit 7 of the gain detection means 6 of the Raman amplifier and the excitation light source 2 is newly installed. Said gain detection means 6 detects the gain of the Raman amplifier by the concrete configuration of the example mentioned later, and based on the detection gain value, said control circuit 7 carries out feedback control of the excitation light source so that a detection gain value may become fixed. Since the one where excitation light power is larger is large, if the Raman gain has a detection gain value smaller than an expected setting gain value, it will increase excitation light power, and if a detection gain value is larger than an expected setting gain value, it will reduce excitation light power.

[0024] Drawing 2 shows the example of gain saturation characteristics of the Raman amplifier by this invention. It is the case where the upper limit of excitation light power is 600mW. If fixed like [in case excitation light power is the conventional technique] when comprehensive input signal light power increases based on the aforementioned factor, the Raman gain will decrease, but in this invention, since reduction of the Raman gain is detected and excitation light power is increased, the Raman gain can be maintained at constant value. For example, although the Raman gain will begin to decrease with the conventional technique if comprehensive input signal light power exceeds -20dBm when excitation light power is 400mW, for the Raman gain, comprehensive input signal light power is [about] at this invention. -It is fixed to 5dBm.

[0025] Drawing 3 shows the example of dispersion in the Raman gain of every [which is used by this invention] gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Feiba 4). In this invention, since the gain detection means detected the Raman gain for every gain medium fiber to be used and excitation light power is

determined, dispersion in the Raman gain seen with the conventional technique (drawing 21) is reduced within the precision of gain detection, as shown in drawing 3 .

[0026] As explained above, when the comprehensive input signal light power which was a problem is changed in the conventional technique, according to this invention, the point which gain fluctuation produces, and the point which dispersion in the gain depending on the gain medium fiber (transmission fiber 1A or Raman Fiber 4) to be used produces are solved.

[0027] Hereafter, this invention is explained to a detail with the gestalt (example) of operation with reference to a drawing. In addition, in the complete diagram for explaining an operation gestalt (example), what has the same function attaches the same sign, and explanation of the repeat is omitted.

[0028] Below, the examples 1-16 by this invention are shown. Examples 1-14 show the case where the propagation direction of signal light and excitation light is reverse (when it is back excitation). When examples 1-7 are concentration mold Raman amplifier, examples 8-14 are the cases of distribution pattern Raman amplifier (optical transmission system using distribution pattern Raman magnification). As for each example, gain detection means mainly differ. About the case where the propagation direction of signal light and excitation light is the same, examples 15 and 16 show and it is realized that it is the same as that of the case of back excitation (when it is front excitation). However, the back excitation from a viewpoint of the mutual gain modulation (bibliography 3:F.Forghieri et al., Proc.OFC, FC6, pp.294-295, 1994, reference) of the Raman gain is more common than front excitation. Moreover, in the bidirectional excitation which used back excitation and front excitation for coincidence, it can say clearly that it is the same as that of the case of said back excitation. Moreover, examples 1-14 are the cases where the excitation light source has one wave of laser, and the operation gestalten 15 and 16 are the cases where the excitation light source has two laser (example in the case of being the two or more arbitration numbers) with which wavelength differs.

[0029]

[Embodiment of the Invention] (Operation gestalt 1) Drawing 4 (a), (b), drawing 5 (a), (b), drawing 6 , drawing 7 (a), and (b) It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the concentration mold Raman amplifier of the operation gestalt 1 by this invention. For drawing 4 (a), the example of a signal light power detection mold and drawing 4 (b) are [the example of a front magnification natural scattered-light power detection mold and drawing 5 (b) of the example of an excitation light power detection mold and drawing 5 (a)] the examples of a back magnification natural scattered-light power detection mold. The transmission fiber with which 1A and 1B transmit signal light in drawing 4 and drawing 5 , respectively, The multiplexing machine with which 2 multiplexs the excitation light source and 3 multiplexs signal light, a multiplexing machine-cum-the splitter with which 3M multiplex or separate signal light spectrally, (Optical fiber) The turnout to which in Raman Fiber and 6 a gain detection means and 7 branch a control circuit, and 8, 8A, and 8B branch [4] signal light, A light-receiving means (electric

eye) and 9A the splitter with which 8F separate signal light spectrally, and 9 The 1st light-receiving means (electric eye), 9B -- the 2nd light-receiving means (electric eye) and 10 -- a circulator and 11 -- for signal light and ER, excitation light and NR are [the probe light source and 200 / a concentration mold Raman amplifier and SR / probe light and LR of the magnification natural scattered light and PR] Rayleigh-scattering light.

[0030] (Example 1) The concentration mold Raman amplifier of the signal light power detection mold of the example 1 of this operation gestalt 1 is the case where a gain medium fiber is said Raman Feiba 4, as shown in drawing 4 (a) (the same is said of the thing to the following and examples 2-7). However, obvious optical components, such as an optical isolator used before and behind a gain medium fiber if needed, are omitted like the case of the conventional technique. Detection of the Raman gain is performed using the signal light SR which spreads the inside of Raman Feiba 4. It branches in a part or all of said signal light SR, i.e., some the wavelength or the full wave length of wavelength multiple-signal light, before and behind said Raman Feiba 4, respectively, the branched signal light SR is received with each light-receiving means 9, and the signal light power before and behind said Raman Feiba 4 is detected. Said light-receiving means 9 has the electric eye of photoelectricity conversion, and the optical filter which takes out only desired signal light wave length if needed (bibliography 4:H.Suzuki et al., Phton.Technol.Lett., Vo 1.10, pp.734-736, 1998, reference).

[0031] The signal light power level which became an electrical signal with said each light-receiving means is transmitted to a control circuit 7, these two signal light power level is compared there, and the Raman gain is computed from those ratios. Said control circuit 7 changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain. Said excitation light sources are semiconductor laser, solid state laser, etc., and, generally a current drive is carried out. Therefore, said excitation light power changes with said drive currents.

[0032] The saturation characteristics and dispersion of the Raman gain which are acquired by this example 1 are the same as that of drawing 2 and drawing 3 (it is the same also about the following and examples 2-7). However, the gain shown in drawing 2 and drawing 3 is the external gain of the concentration mold Raman amplifier of an example.

[0033] (Example 2) The concentration mold Raman amplifier of the example 2 of this operation gestalt 1 is performing detection of the Raman gain using the excitation light ER which spreads the inside of said Raman Feiba 4, as shown in drawing 4 (b). Said excitation light ER is separated spectrally after Raman Feiba 4 using splitter 8F by branching from the following semiconductor laser back end side in front of Raman Feiba 4, the excitation light ER branched or separated spectrally is received with each light-receiving means 9A and 9B, and the excitation light power before and behind Raman Feiba 4 is detected. A light-receiving means to receive output excitation light power for a light-receiving means to receive the input excitation light power to Raman Feiba 4, from 1st light-receiving means 9A and Raman Feiba 4 is set to 2nd light-receiving means 9B.

However, it is the example easy [a configuration] and economical of the excitation light source 2 being practically important semiconductor laser, and drawing 4 (b) combining the excitation light ER from the front end side of the semiconductor laser with an optical fiber pigtail, considering as the use excitation light ER, and receiving the excitation light [**** / from a back end side / un-] ER directly by 1st light-receiving means 9A, such as a photodiode. Of course, the splitter of the excitation light ER may be installed between the excitation light source ER and Raman Feiba 4, and you may lead to said 1st light-receiving means 9A.

[0034] The variation of the Raman gain when comprehensive input signal light power changes has the excitation light power after penetrating said Raman Feiba 4, and a high correlation. Therefore, the Raman gain can be kept constant by keeping constant the excitation light power after said transparency. However, although the variation of said Raman gain is mainly determined by the excitation light power after said transparency, since it is dependent also on the input excitation light power to said Raman Feiba 4 a little, it gives the amendment according to the input excitation light power to a control circuit 7 according to the input excitation light power detected with this configuration of said drawing 4 (b). From the above thing, the Raman gain is computed by this example 2 in the control circuit 7 based on the excitation light power before and behind Raman Feiba 4. Said control circuit 7 changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0035] (Example 3) The concentration mold Raman amplifier of the example 3 of this operation gestalt 1 is performing detection of the Raman gain using the amplified natural scattered light (hereafter, it omits and the magnification natural scattered light NR is called) which is generated in said Raman Feiba 4, as shown in drawing 5 (a). Although the magnification natural scattered light NR has the thing of front (the excitation light ER and this direction) and the back (the excitation light ER and hard flow), the magnification natural scattered light NR (hereafter, it omits and the back magnification natural scattered light BNR is called) of the back is used for the example 4 as which this example 3 describes the magnification natural scattered light NR (it omits and the front magnification natural scattered light FNR is called hereafter) of front below. The front magnification natural scattered light FNR which carried out outgoing radiation was separated from said Raman Feiba 4 with signal light by low loss using the circulator 10, it led to the light-receiving means 9, and the magnification natural scattered-light power of front is detected.

[0036] The Raman gain when comprehensive input signal light power changes has the magnification natural scattered-light power of front, and a high correlation. The relation between magnification natural scattered-light power (magnification natural scattered-light power of front and the back) and the Raman gain was shown in drawing 8 . When comprehensive input signal light power and excitation light power change in the large range (for example, operating range shown in drawing 20), the relation between magnification natural scattered-light power and the Raman gain is given with a sufficient precision with a certain fixed curve. Specifically, the gap from said curve is at most 0.1dB. therefore, holding the Raman gain uniformly in a high precision cuts by holding the magnification natural

scattered-light power of front uniformly.

[0037] Drawing 9 shows the spectrum of the light which carries out incidence to the light-receiving means 9 of drawing 5 (a) of this example 3. A thin line is related with this example 3 and the example 4 which a thick wire mentions later. Signs that the Rayleigh-scattering light LR of the back of wavelength multiple-signal light is mixed in the front magnification natural scattered light FNR are shown by this example 3. Drawing 10 removes the Rayleigh-scattering signal light of the mixed back, and shows the configuration of the light-receiving means 9 equipped with the optical filter which penetrates the front magnification natural scattered light FNR. Drawing 10 (a) is a configuration using two array waveguide grids 12, and the configuration using a circulator 10 and the Fabry-Perot filter 14 of drawing 10 (b). In drawing 14, 13 is a photodiode.

[0038] From the above thing, the Raman gain is computed by this example 3 in the control circuit based on front magnification natural scattered-light power. Said control circuit 7 changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0039] (Example 4) Although the concentration mold Raman amplifier of the example 4 of this operation gestalt 1 is similar with said example 3 as shown in drawing 5 (b), it is performing detection of the Raman gain in this example 4 using the back magnification natural scattered light BNR. That is, the back magnification natural scattered light BNR which carried out outgoing radiation from said Raman Feiba 4 was led to the light-receiving means 9 using the turnout 8, and back magnification natural scattered-light power is detected. The Raman gain when comprehensive input signal light power changes is the same as that of said example 3 as it was shown in drawing 8. The gap from said curve is at most 0.1dB like said example 3. Therefore, the Raman gain can be kept constant by keeping constant back magnification natural scattered-light power. The thick wire of drawing 9 shows the spectrum of the light which carries out incidence to the light-receiving means 9 of drawing 5 (b) of this example 4. The amplified wavelength multiple-signal light is mixed in the back magnification natural scattered light BNR in this example 4. Like the case of said example 3, drawing 10 (b) removes the amplified wavelength multiple-signal light, and shows the configuration of the light-receiving means 9 equipped with the optical filter which penetrates the back magnification natural scattered light BNR. From the above thing, the Raman gain is computed by this example 4 in the control circuit 7 based on back magnification natural scattered-light power. Said control circuit changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0040] (Example 5) As shown in drawing 6, the concentration mold Raman amplifier of the example 5 of this operation gestalt 1 detects the input excitation light power of said Raman Feiba 4 HE, and the power of the Rayleigh excitation light (omitting hereafter back Rayleigh-scattering excitation light BLR) of the back from Raman Feiba 4, and is performing detection of the Raman gain. Said input excitation light power has received and detected the excitation light ER from the back end side of excitation laser by 1st light-receiving means 9A like said example 2 (drawing 4 (b)). moreover, the back Rayleigh-scattering excitation light BLR

-cum- [multiplexing machine] -- it led to 2nd light-receiving means 9B using splitter 3M and a turnout 8, and the Rayleigh-scattering excitation light power of the back is detected.

[0041] The Raman gain when comprehensive input signal light power changes has the Rayleigh-scattering excitation light power of the back, and a high correlation. However, the correlation includes a certain amount of error depending on input excitation light power. The example of the relation between the Rayleigh-scattering excitation light power of the back and the Raman gain in typical input excitation light power (600,400,200mW) was shown in drawing 15. Moreover, the example of a configuration of the control circuit 7 of drawing 6 which performs fixed control of the Raman gain using the relation of drawing 15 was shown in drawing 16. In said control circuit 7, the detection value of input excitation light power after inputting the detection value of the Rayleigh-scattering excitation light power of the back into one input port of the differential amplifier 15 which carries out the electric drive of the excitation light source 2 and passing along an analog or the digital arithmetic circuit 16 in it in the input port of another side is inputted. In said arithmetic circuit 16, electric I/O level is changed so that the Raman gain of drawing 15 and the relation of the Rayleigh-scattering excitation light power of the back may appear on one curve in approximation. Therefore, the Raman gain can be kept constant in approximation by this control circuit 7.

[0042] From the above thing, the Raman gain is computed by this example 4 in the control circuit 7 based on the input excitation light ER and the back Rayleigh-scattering excitation light BLR. Said control circuit 7 changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0043] (Example 6) The concentration mold Raman amplifier of the example 6 of this operation gestalt 1 is detecting Raman gain using the built-in probe light source 11 established in this Raman amplifier 200, as shown in drawing 7 (a). That is, the output probe light power from said Raman Feiba 4 is detected. The wavelength of the probe light PR from said probe light source 11 is the arbitration wavelength of the Raman gain wavelength region. Said input probe light power presupposes that it is fixed in order to simplify explanation. The probe light PR which carried out outgoing radiation from said Raman Feiba 4 was led to the light-receiving means 9 by the low insertion loss using the Sir KYURE evening 10, and output probe light power is detected.

[0044] The correspondence relation of one to one based on the homogeneity saturation characteristics of the Raman gain between the Raman gain of the signal light SR and the Raman gain of the probe light PR is. The correspondence relation is unrelated (the so-called homogeneity saturation) at the saturation ratio of the input excitation light power to this Raman amplifier, input signal light power, and gain. Specifically, the Raman gain of signal light and the Raman gain of probe light which were expressed per dB are matched with a primary function. Fixed control of the Raman gain is performed using the correspondence relation of this one to one.

[0045] From the above thing, the Raman gain is computed by this example 6 in the control circuit based on input probe light and output probe light. Said control

circuit 7 changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0046] (Example 7) The concentration mold Raman amplifier of the example 7 of this operation gestalt 1 is detecting Raman gain using the built-in probe light source 11 installed in the Raman amplifier 200 of this example 7 like said example 6, as shown in drawing 7 (b). However, the input probe light power to said Raman Feiba 4 and the back Rayleigh-scattering probe light (BLPR) power reflected in distribution in Raman Feiba 4 are detected. The wavelength of the probe light from said probe light source 11 is the arbitration wavelength of the Raman gain wavelength region. However, the optimal probe light wave length exists according to the operating state (input excitation light, signal light power, etc.) of the Raman amplifier of this example 7. Said input probe light power has detected the probe light from the back end side of probe laser by 1st receiving means 9A like said example 6. Moreover, the back Rayleigh-scattering probe light BLPR reflected with Raman Feiba 4 was led to 2nd light-receiving means 9B using spectral separation and branching, and the back Rayleigh-scattering probe light BLPR is detected. The reflection factor of probe light is computed from the aforementioned input probe light power and back Rayleigh-scattering probe light power.

[0047] The variation of the Raman gain when comprehensive input signal light power changes has the reflection factor and correlation of said probe light. Fixed control of the Raman gain is performed using this correlation.

[0048] From the above thing, the Raman gain is computed by this example 7 in the control circuit based on the reflection factor of probe light. Said control circuit changes excitation light power so that the calculation Raman gain may become equal to the expected Raman gain.

[0049] (Operation gestalt 2) Drawing 11 (a), (b), drawing 12 (a), (b), drawing 13, drawing 14 (a), and (b) It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the distribution pattern Raman amplifier of the operation gestalt 2 by this invention. The example of a signal light power detection mold and drawing 11 (b) drawing 11 (a) The example of an excitation light power detection mold, The example of a front magnification natural scattered-light power detection mold and drawing 12 (b) drawing 12 (a) The example of a back magnification natural scattered-light power detection mold, Drawing 13 is [the example of a probe light power detection mold and drawing 14 (b) of the example of a back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold and drawing 14 (a)] the examples of a back Rayleigh-scattering probe light power detection mold.

[0050] (Example 8) As the distribution pattern Raman amplifier of the example 8 of this operation gestalt 2 is shown in drawing 11 (a), it is similar with said example 1, but although the gain medium fiber was Raman Feiba 4 in said example 1, it differs greatly in that a gain medium fiber is transmission fiber 1A in this example 8.

[0051] Also about the example to the following examples 9-14, it is the same and similar with the example to said examples 2-7, respectively. In the example to said examples 2-7, although the gain medium fiber was Raman Feiba 4, in the example to examples 9-14, it differs greatly in that a gain medium fiber is transmission fiber

1A. The die length of transmission fiber 1A is usually dozens of km or more, and the distance before and behind transmission fiber 1A has the description that it is separated by the die length. Therefore, especially the case (example to said examples 1-7) of the concentration mold Raman amplifier which used Raman Feiba 4, and in the case of the distribution pattern Raman amplifier using transmission fiber 1A (example to examples 8-14), a difference is remarkable when the gain detection means is installed ranging over transmission fiber 1A order.

[0052] In this example 8, detection of the Raman gain is performed using the signal light which spreads the inside of transmission fiber 1A. It branches in a part or all of said signal light, i.e., some the wavelength or the full wave length of wavelength multiple-signal light, by Turnouts 8A and 8B before and behind transmission fiber 1A, respectively, the branched signal light is received with each light-receiving means 9A and 9B, and the signal light power before and behind transmission fiber 1A is detected. A different point from said example 1 is having transmitted the input signal light power value which carried out the monitor to the excitation light source 2 side using the supervisory-signal light OSR from the light source 17 and multiplexing machine 3C which were newly installed in front of transmission fiber 1A. Therefore, the control means 18 of the light source 17 for the supervisory-signal light is installed in the input side of transmission fiber 1A, and splitter 8F and the light-receiving means 20 for the supervisory-signal light are installed in the output side of transmission fiber 1A.

[0053] Actuation of a control circuit 7 is the same as the case of said example 1. Moreover, the saturation characteristics and dispersion of the Raman gain which are acquired by this example 8 are the same as the case of drawing 2 and drawing 3 considering the Raman gain as internal gains (ratio of the signal light power when turning excitation light on and off) within transmission fiber 1A (it is the same also about the example to the following and examples 9-14).

[0054] (Example 9) The distribution pattern Raman amplifier of the example 9 of this operation gestalt 2 is performing detection of the Raman gain using the excitation light which spreads said transmission fiber 1A, as shown in drawing 11 (b). A different point from said example 2 is having transmitted the output excitation light power value which carried out the monitor to the excitation light source side using the supervisory-signal light OSR from the light source 17 and multiplexing machine 3C which were newly installed in front of transmission fiber 1A. Therefore, the optical control means 18 for the supervisory-signal light is installed in the input side of transmission fiber 1A, and splitter 8F and the light-receiving means 20 for the supervisory-signal light are installed in the output side of transmission fiber 1A. Actuation of a control circuit 7 is the same as the case of said example 2.

[0055] (Example 10) The distribution pattern Raman amplifier of the example 10 of this operation gestalt 2 is performing detection of the Raman gain using the amplified natural scattered light (hereafter, it omits and the magnification natural scattered light is called) which is generated in said transmission fiber 1A, as shown in drawing 12 (a). Although the magnification natural light has the thing of front (excitation light and this direction) and the back (excitation light and hard flow),

this example 10 uses the magnification natural scattered light (hereafter, it omits and the front magnification natural scattered light is called) of front, and the following example 11 uses the magnification natural scattered light of the back. A different point from said example 3 is having transmitted the front magnification natural scattered-light power value which carried out the monitor to the excitation light source side using the supervisory-signal light OSR from the light source 17 and multiplexing machine 3C which were newly installed in front of transmission fiber 1A. Therefore, the control means 18 of the light source 17 for the supervisory-signal light is installed in the input side of transmission fiber 1A, and splitter 8F and the light-receiving means 20 for the supervisory-signal light are installed in the output side of transmission fiber 1A. Actuation of the **** circuit 7 is the same as the case of said example 3.

[0056] (Example 11) Although the distribution pattern Raman amplifier of the example 11 of this operation gestalt 2 is similar with said example 10 as shown in drawing 12 (b), it is performing detection of the Raman gain in this example 11 using the magnification natural scattered light (hereafter, it omits and the back magnification natural scattered light is called) of the back. In this example 11, since the monitor of the light spread to an excitation light source side is carried out, ranging over transmission fiber 1A, a gain detection means does not exist like said example 10. Therefore, it has the same configuration as said example 4. Though natural, actuation of a control circuit 7 is the same as the case of said example 4.

[0057] (Example 12) The example 12 of this operation gestalt 2 is the distribution pattern Raman amplifier of a back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold, as shown in drawing 13, detects the input excitation light power to said transmission fiber 1A, and the Rayleigh-scattering light power (hereafter, it omits and the back Rayleigh-scattering excitation light BLR is called) of the back from said transmission fiber 1A, and is performing detection of the Raman gain. In this example 12, since the monitor of the back Rayleigh-scattering excitation light power spread in excitation light is carried out, ranging over a transmission fiber, a gain detection means does not exist like said example 8. Therefore, it is ***** about the same configuration as said example 5. Though natural, actuation of a control circuit 7 is the same as the case of said example 5.

[0058] (Example 13) The example 13 of this operation gestalt 2 is the distribution pattern Raman amplifier of a probe light power detection mold, and as shown in drawing 14 (a), it is detecting Raman gain in this example 13 using the built-in probe light source 11 installed in the Raman amplifier of this example 13. That is, the input and output probe light power to said transmission fiber 1A are detected. A different point from said example 6 is having transmitted the probe light power value which carried out the monitor to the excitation light source side using the supervisory-signal light OSR from the light source 17 and multiplexing machine 3C which were newly installed in front of transmission fiber 1A. Therefore, the control means 18 of the light source 17 for the supervisory-signal light is installed in the input side of transmission fiber 1A, and splitter 8F and the light-receiving means 20 for the supervisory-signal light are installed in the output side of transmission fiber 1A. Actuation of a control circuit 7 is the same as the case of

said example 6.

[0059] (Example 14) The example 14 of this operation gestalt 2 is the distribution pattern Raman amplifier of a back Rayleigh-scattering probe light power detection mold, and as shown in drawing 14 (b), it is detecting Raman gain like said example 13 in this example 14 using the built-in probe light source 11 installed in the Raman amplifier of this example 14. However, the input probe light power to said transmission fiber 1A and the back Rayleigh-scattering probe light (BLPR) power reflected in distribution in transmission fiber 1A are detected. In this example 14, since the monitor of the back Rayleigh-scattering probe light power spread to an excitation light source side is carried out, ranging over transmission fiber 1A, a gain detection means does not exist like said example 8. Therefore, it has the same configuration as said example 7. Though natural, actuation of a control circuit 7 is the same as the case of said example 7.

[0060] (Example 15) The example 15 of this operation gestalt 2 is the distribution pattern Raman amplifier of a back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold, and as shown in drawing 17, it is the case where it has two laser LD1 and LD2 of wavelength with which the distribution pattern Raman amplifier using transmission fiber 1A as a gain medium is excited forward, and the excitation light sources 2 differ. Wavelength of laser LD1 and LD2 is set to λ_{d1} and λ_{d2} , respectively. The purpose using two or more excitation wavelength is mainly expansion of a flat gain band width product (bibliography 5: Japanese Patent Application No. 11-187965 besides Suzuki, "the wavelength multiplexing lightwave transmission system using the Raman distributed amplifier", reference). The gain detection approach of this example 15 is similar with said example 12, and has detected back Rayleigh-scattering light PAWA of excitation light for every excitation laser.

[0061] It is multiplexed with a wavelength selection mold multiplexing vessel, and incidence of wavelength λ_{d1} and the excitation light of λ_{d2} is carried out to transmission fiber 1A from front using multiplexing machine 3M of the signal light installed all over the transmission line, and excitation light. These two waves of incidence excitation light is received by 1st light-receiving means (R1) 9A, respectively. A path contrary to incidence excitation light is followed, it is separated spectrally into λ_{d1} and λ_{d2} with a wavelength selection mold multiplexing machine-cum-the splitter 21, and the back Rayleigh-scattering excitation light generated in transmission fiber 1A is led to 2nd light-receiving means (R2) 9B using branching. Each laser is independently controlled like said example 12 in a control circuit 7.

[0062] Although this example 15 explained above the distribution pattern Raman amplifier whose gain medium is transmission fiber 1A, it can say the same thing clearly also about the concentration mold Raman amplifier whose gain medium is Raman Feiba 4. Moreover, the number of the laser which the excitation light source has is not clearly restricted to two pieces, and is good with the number of arbitration.

[0063] (Example 16) The example 16 of this operation gestalt 2 is the distribution pattern Raman amplifier of a back Rayleigh-scattering signal light power detection

mold, and as shown in drawing 18, it is the case where it has two laser LD1 and LD2 of wavelength with which the distribution pattern Raman amplifier using transmission fiber 1A as a gain medium is excited forward, and the excitation light sources differ like said example 15. Although the gain detection approach of this example 16 is similar with said example 14, built-in probe light did not use but has detected the back Rayleigh-scattering power of signal light.

[0064] It is multiplexed with the wavelength selection mold multiplexing vessel 22, and incidence of wavelength λ_{d1} and the excitation light of λ_{d2} is carried out to transmission fiber 1A from front using multiplexing machine 3M of the signal light installed all over the transmission line, and excitation light. These two waves of incidence excitation light is received by light-receiving means (R1) 9A of ***** 1st.

[0065] The signal light wave length of wavelength multiplexing is set to λ_{d1} , λ_{d2} , ..., λ_{dn} (n is the natural number), and wavelength near the gain peak of excitation light wave length λ_{d1} and the signal light to λ_{d2} is set to λ_{s1} and λ_{s2} , respectively. In this example 16, wavelength λ_{s1} and the back Rayleigh-scattering signal light power of λ_{s2} are detected (bibliography 5 reference). Incidence of the back Rayleigh-scattering light of the signal light λ_{d1} and λ_{d2} produced in transmission fiber 1A, ..., λ_{dn} is carried out to 2nd light-receiving means (R2) 9B by the low insertion loss with a circulator 10 and the wavelength selection mold multiplexing vessel 22, and the optical power is detected.

[0066] Each of laser LD1 and LD2 is independently controlled like said example 14 in a control circuit 7. If the signal light wave length who uses for gain detection has a high correlation between the Raman gains by the excitation laser which is not restricted to wavelength λ_{s1} and λ_{s2} , and controls with each back Rayleigh-scattering signal light power using it, he is good on the wavelength of arbitration.

[0067] As mentioned above, although concretely explained based on the example by this invention, as for this invention, in the range which is not limited to said example and does not deviate from the summary, it is needless to say that it can change variously.

[0068]

[Effect of the Invention] As explained above, when comprehensive input signal light power is changed, according to this invention, fluctuation of gain can be reduced in the Raman amplifier or the optical transmission system using it. Moreover, in the Raman amplifier or the optical transmission system using it, dispersion in the gain of every gain medium fiber (an optical transmission fiber or Raman Fiber) can be reduced.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not

reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the mimetic diagram showing the basic configuration of the Raman amplifier by this invention.

[Drawing 2] It is drawing showing the example of gain saturation characteristics of the Raman amplifier by this invention.

[Drawing 3] It is drawing showing the example of dispersion in the Raman gain for every gain medium fiber used by this invention.

[Drawing 4] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the concentration mold Raman amplifier of the examples 1 and 2 of the operation gestalt 1 by this invention, and is drawing showing the outline configuration of the example of a signal light power detection mold, and the example of an excitation light power detection mold.

[Drawing 5] It is drawing showing the outline configuration of the example of the front magnification natural scattered-light power detection mold of the examples 3 and 4 of this operation gestalt 1, and the example of a back magnification natural scattered-light power detection mold.

[Drawing 6] It is drawing showing the outline configuration of the example of the back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold of the example 5 of this operation gestalt 1.

[Drawing 7] It is drawing showing the outline configuration of the example of the probe light power detection mold of the examples 6 and 7 of this operation gestalt 1, and the example of a back Rayleigh-scattering probe light power detection mold.

[Drawing 8] It is drawing showing the related example of the magnification natural scattered-light power of this example, and the Raman gain.

[Drawing 9] It is drawing showing the spectrum of the monitor light of this examples 3 and 4.

[Drawing 10] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the light-receiving means of this examples 3 and 4.

[Drawing 11] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the example of the signal light power detection mold of the distribution pattern Raman amplifier of the examples 8 and 9 of the operation gestalt 2 by this invention, and an excitation light power detection mold.

[Drawing 12] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the example of the front magnification natural scattered-light power detection mold of the distribution pattern Raman amplifier of the examples 9 and 10 of this operation gestalt 2, and a back magnification natural scattered-light power detection mold.

[Drawing 13] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the example of the back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold of the distribution pattern Raman amplifier of the example 12 of this operation gestalt

2.

[Drawing 14] It is the example of the probe light power detection mold of the distribution pattern Raman amplifier of the examples 13 and 14 of this operation gestalt 2, and a back Rayleigh-scattering probe light power detection mold.

[Drawing 15] It is drawing showing the relation between the Rayleigh-scattering excitation light power of the back of this example, and the Raman gain.

[Drawing 16] It is the mimetic diagram showing the example of a configuration of the control circuit of this example.

[Drawing 17] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the distribution pattern Raman amplifier of the back Rayleigh-scattering excitation light power detection mold of the example 15 of this operation gestalt 2.

[Drawing 18] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the distribution pattern Raman amplifier of the back Rayleigh-scattering signal light power detection mold of the example 16 of this operation gestalt 2.

[Drawing 19] It is the mimetic diagram showing the outline configuration of the conventional distribution magnification mold Raman amplifier and intensive magnification mold Raman amplifier.

[Drawing 20] It is drawing showing the example of a type of the saturation characteristics (comprehensive input signal light power dependency of the Raman gain) of the Raman gain in the conventional Raman amplifier.

[Drawing 21] It is drawing showing the example of dispersion of the Raman gain in the conventional Raman amplifier.

[Description of Notations]

1A, 1B [-- A multiplexing machine-cum-a splitter,] -- A transmission optical fiber, 2 -- 3 The excitation light source, 3C -- A multiplexing machine, 3M 4 [-- Distribution pattern Raman amplifier,] -- Raman Feiba, 6 -- A gain detection means, 7 -- A control circuit, 100 200 -- Concentration mold Raman amplifier, SR -- Signal light, 8, 8A, 8B -- Turnout, 8F -- A splitter, 9 -- A light-receiving means (electric eye), 9A -- The 1st light-receiving means (electric eye), 9B -- The 2nd light-receiving means (electric eye), 10 -- A circulator, 11 -- Probe light source, 12 -- An array waveguide grid, 13 -- A photodiode, 14 -- Fabry-Perot filter, 15 [-- A control means, 20 / -- A light-receiving means, 21 / -- A wavelength selection mold multiplexing machine-cum-a splitter, 22 / -- A wavelength selection mold multiplexing machine 23 / -- Wavelength selection mold splitter.] -- The differential amplifier, 16 -- An analog or a digital arithmetic circuit, 17 -- The light source, 18

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]

[Drawing 2]

[Drawing 3]

[Drawing 4]

[Drawing 8]

[Drawing 9]

[Drawing 20]

[Drawing 5]

[Drawing 6]

[Drawing 7]

[Drawing 10]

[Drawing 13]

[Drawing 11]

[Drawing 12]

[Drawing 14]

[Drawing 15]

[Drawing 16]

[Drawing 17]

[Drawing 18]

[Drawing 19]

[Drawing 21]

[Translation done.]